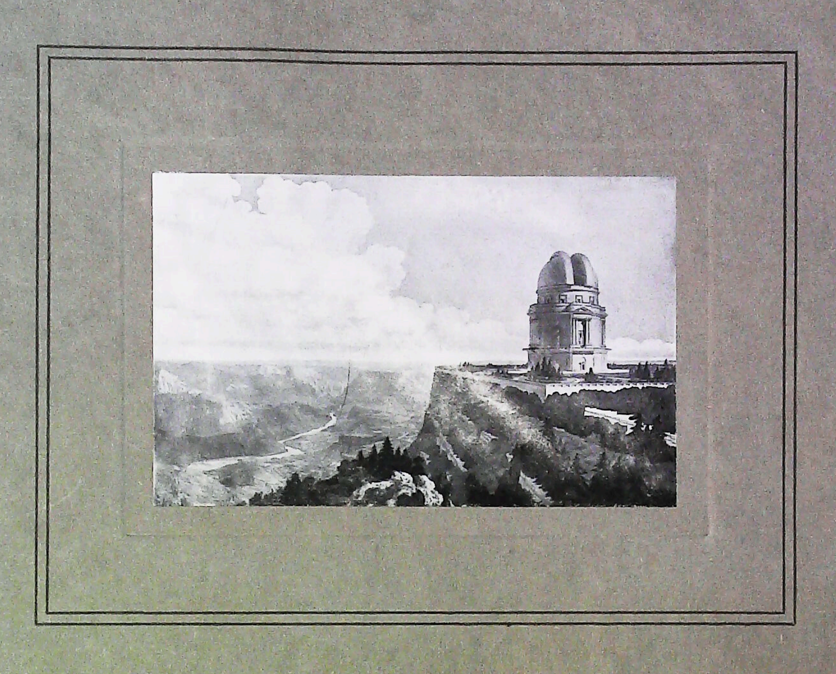


THE DEVELOPMENT OF ASTRO-PHOTOGRAPHY AND THE GREAT TELESCOPES OF THE FUTURE

L'ÉVOLUTION DE L'ASTROPHOTOGRAPHIE
ET LES
GRANDS TÉLESCOPES DE L'AVENIR

PAR

G. W. RITCHEY

PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

G. W. RITCHEY

L'ÉVOLUTION DE L'ASTROPHOTOGRAPHIE ET LES GRANDS TÉLESCOPES DE L'AVENIR

THE DEVELOPMENT OF ASTROPHOTOGRAPHY AND THE GREAT TELESCOPES OF THE FUTURE

INTRODUCTION DE
L. DELLOYE
DIRECTEUR GÉNÉRAL DES GLACERIES
DE LA COMPAGNIE DE SAINT-GOBAIN

PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES
DE LA
SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE
[illegible]

G. W. RITCHEY

L'ÉVOLUTION DE L'ASTROPHOTOGRAPHIE ET LES GRANDS TÉLESCOPES DE L'AVENIR

THE DEVELOPMENT OF ASTRO-PHOTOGRAPHY AND THE GREAT TELESCOPES OF THE FUTURE

INTRODUCTION DE

L. DELLOYE

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES GLACERIES
DE LA COMPAGNIE DE SAINT-GOBAIN

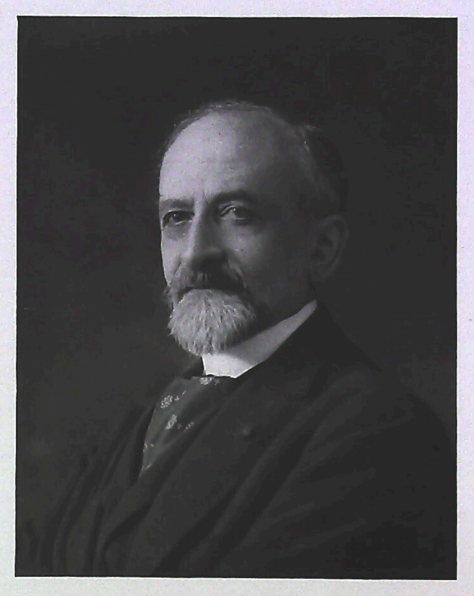
PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES
DE LA
SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE
1929

EN Mai et Juin 1928, la Compagnie de Saint-Gobain présentait à l'Exposition de la Société Française de Physique et à l'Assemblée générale de la Société Astronomique de France, la collection des clichés astronomiques du Professeur Ritchey. L'intérêt que suscita cette présentation fut tel que de nombreuses personnalités du monde scientifique déplorèrent le manque de diffusion d'une documentation photographique aussi remarquable.

Le projet fut alors conçu de publier une partie de l'œuvre astro-photographique du Professeur Ritchey, et la Compagnie de St-Gobain, dont la collaboration avec le Professeur Ritchey remonte à de longues années, résolut de participer à la préparation de cet ouvrage.

Dès 1892, la Compagnie de Saint-Gobain avait fourni un disque de verre au Professeur Ritchey pour lui permettre d'étudier son premier miroir parabolique de 24 pouces de diamètre, utilisé depuis comme élément principal du réflecteur de Yerkes.

Puis, en 1896, le Professeur Ritchey demandait à la Compagnie de Saint-Gobain de lui fabriquer un disque brut de 60 pouces de diamètre qui, après travail, fut monté à l'Observatoire américain du Mont-Wilson.



L. DELLOYE

Directeur Général des Glaceries de la Cie de Saint-Gobain.

Enfin, en 1906, le Professeur Ritchey envisagea la construction, pour le même observatoire, d'un réflecteur de plus grandes dimensions. Le disque brut mesurait 102 pouces de diamètre, son poids était de 4.300 kilogrammes. Dix ans plus tard, ce disque — le plus grand que la Compagnie de Saint-Gobain ait coulé jusqu'ici — servit à réaliser le grand miroir du télescope Hooker.

Ces trois grands réflecteurs comptent aujourd'hui parmi les appareils les plus efficaces en usage.

Leur exécution exigea un travail d'une précision extrême ; il a fallu l'ingéniosité et la merveilleuse habileté du Professeur Ritchey pour polir des miroirs dont la perfection, reconnue de tous les astronomes, permet d'obtenir des épreuves tout à fait remarquables.

L'emploi de masses de verre de plus en plus considérables, d'une bonne homogénéité et d'un recuit suffisamment uniforme, crée aux verriers des difficultés de fabrication considérables. Aussi le Professeur Ritchey poussa-t-il ses recherches vers une méthode de construction cellulaire, avec emploi de dalles minces en verre, sélectionnées, assemblées entre elles par des cloisonnements verticaux.

Tous les efforts du Professeur Ritchey tendent à obtenir, par un contact optique des surfaces de verre et une ventilation suffisante, des miroirs de forme invariable, ne subissant aucune déformation sous l'action des variations de température.

Cette méthode offre de nouvelles perspectives aux constructeurs pour la création de télescopes fixes.

L'œuvre scientifique du Professeur Ritchey, toute de patience et de continuité, mérite un témoignage de profonde admiration, et la Compagnie de Saint-Gobain est heureuse d'avoir pu aider, dans une certaine mesure, ce grand savant dans ses recherches désintéressées.

IN May and June, 1928, The Company of Saint-Gobain presented at the *Exposition de la Société Française de Physique* and at the *Assemblée générale de la Société Astronomique de France* the collection of astronomical photographs of Professor Ritchey. The interest which this presentation created was such that many prominent men of the scientific world expressed their regret at the lack of the broad diffusion, in book-form, of a series of photographs so remarkable.

The plan was then conceived of publishing a part of the astro-photographic work of Professor Ritchey; and the Company of Saint-Gobain, whose collaboration with Professor Ritchey covers a long period of years, decided to participate in the preparation of this publication.

In 1892, the Company of Saint-Gobain furnished to Professor Ritchey a disk of glass which enabled him to make his first large parabolic mirror of 24 inches diameter. This became the principal mirror of the 24-inch reflecting telescope of Yerkes Observatory.

Later, in 1896, Professor Ritchey asked the Company of Saint-Gobain to make for him a rough disk of 60 inches diameter; this, after it was figured, became the mirror of the 60-inch reflecting telescope of Mt. Wilson Observatory.

Still later, in 1906, when Professor Ritchey planned the construction of a still larger reflecting telescope for the same observatory, he ordered from the Saint-Gobain Company a rough disk 102 inches in diameter and weighing 9,500 pounds. Ten years later, this disk, the largest which the Saint-Gobain Company has cast up to the present time, was finished by him as the great mirror of the Hooker reflecting telescope.

These three great reflectors are regarded today as among the most efficient instruments in use. Their realization constituted a work of extreme precision; it required the ingenuity and ability of Professor Ritchey to figure these mirrors, the perfection of which, acknowledged by all astronomers, enabled him to obtain celestial photographs wholly remarkable.

The employment of larger and larger masses of glass, of the necessary homogeneity and with a high degree of uniformity of *annealing*, created extreme difficulties of fabrication for the glassmakers. So Professor Ritchey extended his researches to a method of *hollow* or *cellular* construction of optical mirrors, by the use of thin slabs or plates of glass, each piece selected and tested, and joined together with a system of vertical ribs, (also constructed of glass plates), between them.

All of the efforts of Professor Ritchey tend to secure mirrors which are *optically permanent*, and which do not suffer deformation from variations of temperature. This he attains by *fitting* the glass surfaces with optical accuracy before joining them, and by thorough, *forced ventilation* of the interiors of the mirrors when they are in use.

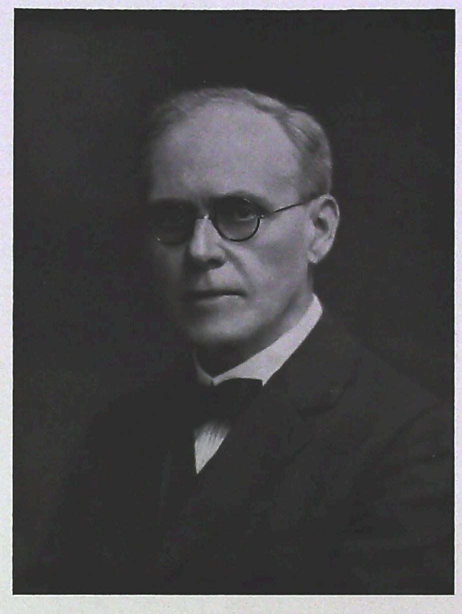
This method opens *new perspectives* to constructors, in the creation of *fixed* or *stationary* types of telescope.

The scientific work of Professor Ritchey, with all its patience and its continuity, merits a testimonal of profound admiration; and the Company of Saint-Gobain is glad to have been able to assist, in a certain measure, this savant in his unselfish researches.

LE besoin de savoir et la poursuite de l'inconnu ont guidé de tous temps les chercheurs ; dès qu'un obstacle barre la route, aussitôt naît en nous le désir de connaître ce qui est au delà.

L'astronome n'échappe pas à cette loi et il éprouve l'impérieux besoin de pénétrer de plus en plus loin dans cette voûte étoilée qui renferme tant de merveilles.

Pour y parvenir, il lui faut accroître l'acuité de sa vision au moyen de télescopes toujours plus puissants, toujours plus perfectionnés... Mais, avec la dimension croissante des instruments, augmentent les difficultés techniques. C'est pourquoi les instruments modernes doivent bénéficier de tous les progrès de la Science et de l'Industrie.



G. W. RITCHEY
Formerly Astronomer at Yerkes and Mt. Wilson Observatories.

Il n'est pas de plus bel exemple de cette coopération que celui offert par la Compagnie des Verres de Saint-Gobain, en France. En effet, depuis soixante-dix ans, cette Société s'est attachée à mettre au point les problèmes techniques les plus complexes et a pu ainsi fournir aux chercheurs et aux savants les plus grands disques de verre connus, destinés aux miroirs optiques. La réalisation de disques de grand diamètre et surtout de grande épaisseur offre tant de difficultés et d'incertitude que l'on ne peut considérer cette opération comme profitable, au sens commercial de ce terme. Cependant, la Compagnie de Saint-Gobain s'est posé comme principe de satisfaire aux besoins des astronomes en leur fournissant les disques de verre demandés, quelles que soient leurs dimensions.

Au cours des vingt dernières années, cette Société, grâce à l'impulsion de son directeur général, M. L. Delloye, est allée encore plus loin et a collaboré avec les astronomes et les constructeurs de télescopes à l'étude des nombreux problèmes de haute technique soulevés par la fabrication de disques plus grands et de meilleure qualité. Depuis 1924, la Compagnie de Saint-Gobain a fourni, en outre, les plaques de verre, planes ou courbes, qui sont nécessaires pour construire les miroirs optiques cellulaires décrits dans cet ouvrage. Récemment, elle a également développé la fabrication d'un verre spécial à faible coefficient de dilatation pouvant être utilisé aussi bien pour les disques massifs que pour les miroirs cellulaires.

Les disques de Saint-Gobain ont été utilisés pour les miroirs de télescopes d'un grand nombre d'observatoires, publics ou particuliers. Les miroirs des plus grands télescopes photographiques modernes actuellement en usage, ceux de 101 pouces et 60 pouces du Mont Wilson (2 m, 56 et 1 m, 52) et celui de 72 pouces (1 m, 83) de l'Observatoire de Victoria ont été taillés dans des disques de Saint-Gobain. Ainsi, cette Société a pris une part très importante dans le développement de la photographie céleste et de l'astronomie moderne.

Depuis trente ans, l'auteur, pour sa seule part, a utilisé pour la fabrication de miroirs optiques plus de cent disques de Saint-Gobain, variant de 0 m, 20 à 2 m, 56 en diamètre, de 0 m, 025 à 0 m, 325 en épaisseur et de 2 kilogrammes à 5.000 kilogrammes en poids. Ces miroirs comprennent le miroir optique plan de 1 m, 50 et les miroirs paraboliques de 1 m, 50 et de 2 m, 56 de l'observatoire du Mont Wilson, ainsi que les miroirs convexes hyperboliques ayant jusqu'à 0 m, 73 employés comme miroirs secondaires de télescopes montés en Cassegrain ; ils comprennent également les combinaisons de deux miroirs taillés avec de

nouvelles courbures donnant de grands champs d'images extrêmement fines et rondes pour les types modernes de télescopes aplanétiques, le Schwarzschild et le Ritchey-Chrétien.

En 1919, l'auteur mit au point, pour la publication, une description complète et abondamment illustrée du travail et des essais optiques des miroirs du télescope Hooker de 2 m, 56. Il prépara aussi une nomenclature de ses photographies célestes, avec mesures et illustrations, en indiquant les perfectionnements apportés dans la technique instrumentale et photographique. Ce travail avait pour objet de montrer, au moyen de la photographie, que les plus grandes et les plus proches nébuleuses spirales sont semblables à notre système galactique lui-même. La publication de cette œuvre avait été décidée, dès le début de l'année, mais, à la fin de 1919, d'insurmontables obstacles, autres que ceux techniques ou financiers, s'opposèrent à ce projet. Certains des manuscrits originaux ont été employés pour la rédaction de ce livre.

Les planches 25 à 29 montrent un nouveau procédé de construction de miroirs optiques. C'est ce procédé — consistant à établir des miroirs cellulaires au moyen d'un certain nombre de plaques rigides de petites dimensions, donc faciles à travailler, en verre à faible dilatation, pyrex ou quartz fondu — qui rend possible la réalisation de télescopes de dimensions et de perfection inconnues jusqu'à ce jour.

Un nouveau principe a été appliqué également à la monture du grand télescope moderne (Planche 33). Cette monture se compose de béton armé, d'acier, de fer et de bronze ; les méthodes employées sont courantes et ne comportent pas plus de difficultés que celles appliquées à la construction des grands immeubles modernes ou des grandes machines de précision, telles que les génératrices ou les presses à imprimer.

Les planches 25 à 29, 32 et 33 montrent les perfectionnements réalisés dans les laboratoires de l'auteur de 1910 à 1929. Le but de ces laboratoires est double : tout d'abord analyser les conditions de la photographie astronomique, telle qu'on la pratique aujourd'hui, conditions qui ne permettent d'utiliser que 5 à 10 pour cent du pouvoir optique des grands instruments astronomiques ; ensuite, rechercher les remèdes à apporter à la technique insuffisante, en perfectionnant les instruments et les procédés, afin d'obtenir des photographies astronomiques utilisant réellement la totalité du pouvoir séparateur théorique des télescopes photographiques.

Quelques-uns de ces perfectionnements sont énumérés brièvement dans ce livre ; on en trouvera une description plus complète dans *L'Astronomie* (1927-1928), dans *Transactions Of The Optical Society*, (Londres), 1927-1928, et dans le *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* (1928-1929).

THE craving of the mind and spirit for knowledge has always been the supreme urge of the investigator — the explorer. Lack of support, opposition and persecution only strengthen the resolution of the searcher for truth. When insurmountable obstacles bar his path, they only increase his determination to see what lies beyond them.

The astronomer does not escape this law. He feels the imperious need to penetrate farther and farther into the depths and mysteries of the Universe. Experience has shown that increase of size of his telescopes inevitably brings with it an increase of technical difficulties in vastly greater proportion. So he must invent instruments and methods of operation ever *better* and *finer*. He must increase the acuteness of his vision by means of telescopes not only larger, but also *more perfect*. He must take advantage of every related improvement which can be supplied by Science and Industry.

There is no finer example of a great commercial company collaborating in a difficult technical problem for the advancement of science than that afforded by the Saint-Gobain Glass Company of France, during the past 70 years, in supplying large glass disks for optical mirrors. The making of glass disks of great diameter, and especially of great *thickness*, is subject to so many difficulties and uncertainties that it cannot be regarded as profitable, in the usual sense of that term. Yet the Saint-Gobain Company has held consistently to its policy of seriously attempting to meet the needs of astronomers for glass disks of any size and thickness demanded.

During the past two decades, this Company, through its Director-General, M. L. Delloye, has gone still farther, and has advised and collaborated with astronomers and telescope-makers in regard to the

many highly-technical problems involved in making better and larger disks. During the past five years this Company has supplied the special glass *plates*, both flat and curved, which are required for *cellular* disks for optical mirrors described in this book. This Company has also developed recently a special *low-expansion* glass for both solid and cellular disks.

Saint-Gobain disks have been used for the mirrors of reflecting telescopes in a large number of observatories, public and private. The mirrors of the largest modern photographic reflectors now in use, the 101-inch and the 60-inch at Mt. Wilson and the 72-inch at Victoria, B. C. are made from Saint-Gobain disks. Thus this Company has had a very important part in the development of celestial photography and of modern astronomy. During the past thirty years the writer alone has used in making optical mirrors more than one hundred Saint-Gobain disks, varying from 8 inches to 102 inches in diameter, from one inch to thirteen inches in thickness, and from five pounds to five tons in weight. These mirrors include the 60-inch optical *plane* mirror and the 60-inch and 101-inch *paraboloidal* mirrors of Mt Wilson Observatory; they include convex *hyperboloidal* mirrors up to 28 3/4 inches diameter for the secondary mirrors of Cassegrainian telescopes; they include also the *new-curve* combinations of two optical mirrors, (which give large fields of extremely *concentrated, round* images), for the modern *aplanatic* types of reflecting telescope, the *Schwarzschild* and the *Ritchey-Chrétien*.

In 1919 the writer prepared for publication a complete description, with many illustrations, of the optical work and testing of the mirrors of the 101-inch Hooker reflector. A paper describing his celestial photographs, with measures and illustrations, and with a description of the refinements used in making them, was also prepared; this paper included a discussion of *five respects* in which these photographs showed that the larger or nearer *spiral nebulae* are similar to our own stellar system. The publication of these papers had been agreed upon early in that year. But late in 1919, insurmountable obstacles, other than technical and financial ones, prevented their publication. Parts of these unpublished papers are used in the present book.

In Plates 25 to 29 a *new principle* in the construction of optical mirrors is illustrated and described. It is this principle — of building up *cellular mirrors* out of any desired number of comparatively small, easily-made, selected, tested, rigid *plates* of low-expansion glass, pyrex or fused quartz — which makes possible reflecting telescopes of *quality* and *dimensions* never imagined hitherto.

This principle applies equally to the *mounting* of the *Super-Telescope*, (Plate 33). This mounting is a *massive building*, constructed of reinforced concrete, steel, iron and bronze; no part of it demands methods of construction more difficult or unusual than those employed for very large, modern buildings and for large and accurate machinery such as great engines, generators and printing-presses.

Plates 25 to 29, 32 and 33 are illustrations of the improvements developed in the writer's laboratories during 1910-1929. The purpose of these laboratories is two-fold : First, to analyze the technical conditions of celestial photography as practised at present, which conditions permit the utilization of not more than *five to ten percent* of the *theoretical* optical power of great photographic telescopes — refractors and reflectors. Second, to develop and demonstrate in the laboratory the *remedies* for all injurious technical conditions, by means of refinements of design, construction and operation, for the purpose of securing celestial photographs of a quality which represents the *full theoretical resolving power* of photographic telescopes.

Some of these refinements are outlined briefly in the present book. They are described more fully in a series of articles in *L'Astronomie*, 1927-28, in *Transactions Of The Optical Society*, (London), 1927-28, and in the *Journal* of the Royal Astronomical Society of Canada, 1928-29. In some of the most important of these improvements, the writer has had the priceless cooperation of the Saint-Gobain Company.

PLANCHE I. — Ce magnifique équatorial est le plus grand réfracteur utilisé avec succès. C'est un monument durable élevé au génie et à l'inébranlable persévérance de ses auteurs. La Société Mantois, de Paris, a fondu les deux disques de verre, d'une perfection absolue ; les opticiens Alvan G. Clark, Carl Lundin et leurs aides dégrossirent l'objectif, le polirent et lui donnèrent ses qualités optiques; les ingénieurs-mécaniciens Warner et Swasey dessinèrent et construisirent la merveilleuse monture de la lunette. Ce réfracteur, le plus grand du monde, est une œuvre d'une utilité perpétuelle et inestimable pour la science et la civilisation.

PLATE I. — The 40-inch refractor of Yerkes Observatory. This magnificent telescope is the largest refractor in successful use. It is an enduring monument to the genius, vision and indomitable perseverance of its makers. The Mantois Company of Paris made the two great disks of optical glass for the objective—an incredible achivement. Alvan G. Clark and Carl Lundin, with their assistants, were the opticians who ground, polished and figured the objective. Warner and Swasey, with their assistants, were the engineers and mechanicians who designed and constructed the magnificent telescope-mounting. This greatest of all refractors is an achivement of perpetual, inestimable service to science, to education and to civilisation.

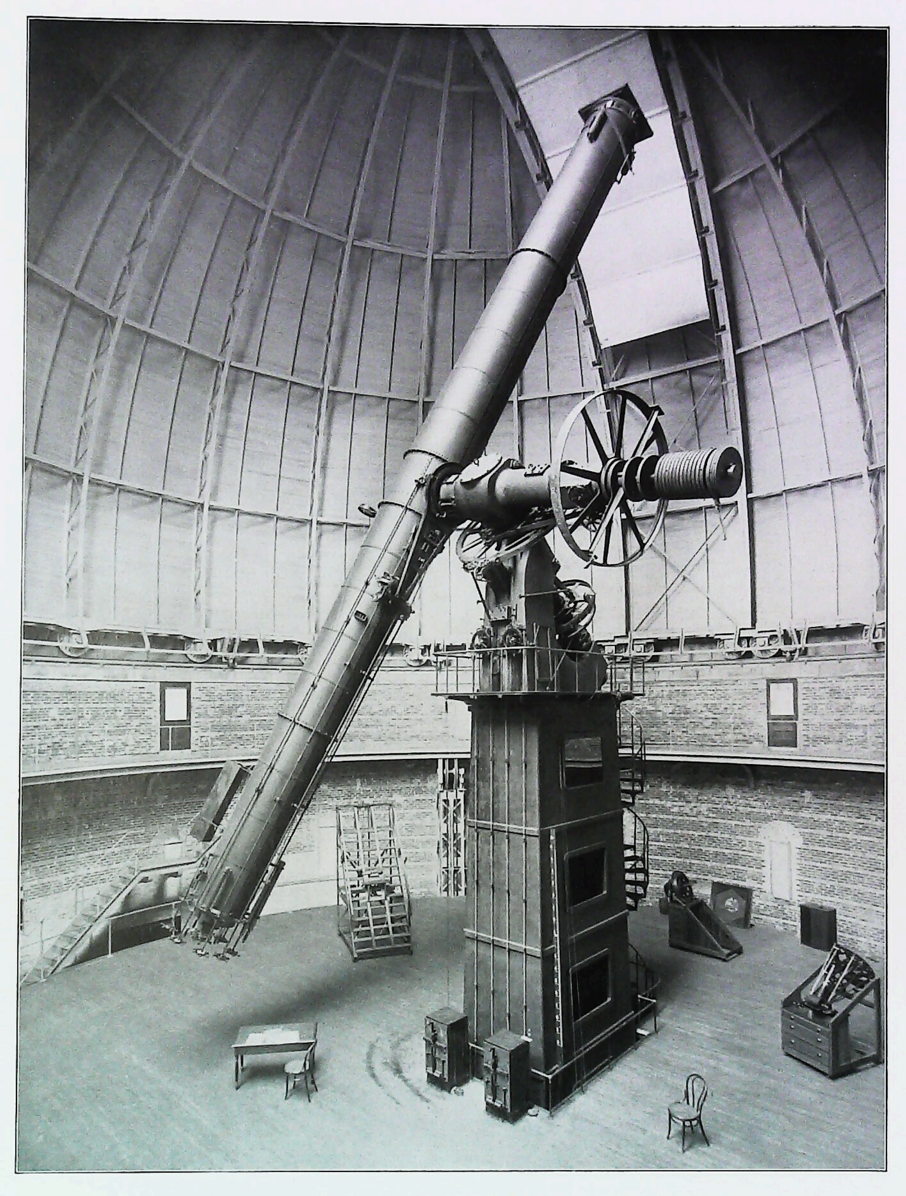


PLANCHE 1. — RÉFRACTEUR DE 1 m, 02 DE L'OBSERVATOIRE DE YERKES.
PLATE 1. — THE 40-INCH REFRACTOR OF YERKES OBSERVATORY.

PLANCHE 2. — Alvan Clark (à gauche) et Carl Lundin près de l'objectif de Yerkes de $1^{m},02$. La lentille de crown est à droite, celle de flint est dans le barillet de métal visible à gauche. Cette photographie a été prise dans la grande coupole de l'Observatoire Yerkes le jour du montage de l'objectif. Seules, les personnes qui ont étudié de près la taille de ces grandes pièces optiques de haute précision ou qui en ont l'expérience personnelle, pourront apprécier la tâche presque surhumaine de la fabrication d'un objectif d'une telle dimension.

PLANCHE 3. — Cette photographie montre M. Parra, de la maison Parra-Mantois, à l'atelier de M. Prin, successeur de M. Gautier, à Paris.

M. Parra est assis entre les deux disques de verres optiques fondus par M. Mantois pour la grande lunette horizontale de l'Exposition Universelle de 1900. Ce sont les plus grands disques réfracteurs qui aient jamais été faits et les derniers chefs-d'œuvre de Mantois, achevés juste avant sa mort ; ils ont environ $1^{m},25$ de diamètre. Par suite du manque d'épaisseur de ces disques, leur travail optique ne fut jamais achevé. La maison Parra-Mantois, fabriquant des verres d'optique de choix pour lentilles et pour prismes, est maintenant étroitement affiliée à la Compagnie de Saint-Gobain, à Paris.

PLATE 2. — Alvan G. Clark (at the reader's left), and Carl Lundin, with the 40-inch Yerkes objective. The crown-glass lens is seen at the right. The flint-glass lens is in the part of the metal cell seen at the left. This photograph was taken in the great dome of Yerkes Observatory on the day when the objective was first attached to its permanent tube. Only those persons who have carefully studied, or who have had actual experience in, the finishing of large telescope-lenses of the highest quality can appreciate the almost superhuman task of making such a telescope-objective as this 40-inch one.

PLATE 3. — This photograph shows M. Parra, of the firm of Parra-Mantois, at the atelier of M. Prin, successor of Gautier, in Paris. M. Parra is seated between the two disks of optical glass which were made by Mantois for the great horizontal telescope of the Paris Exposition of 1900. These are the largest *refractor* disks ever made, and are the final masterpieces of Mantois, completed just before his death ; they are about 50 inches in diameter. In part because these disks are unusually thin, the optical work or *figuring* of these lenses was never completed. The firm of Parra-Mantois, makers of optical glass for the finest lenses and prisms, is now closely affiliated with the Saint-Gobain Company of Paris.



PLANCHE 2. — ALVAN G. CLARK ET CARL LUNDIN PRÈS DE L'OBJECTIF DE 1 m, 02.
PLATE 2. — ALVAN G. CLARK AND CARL LUNDIN WITH THE 40-INCH OBJECT-GLASS.

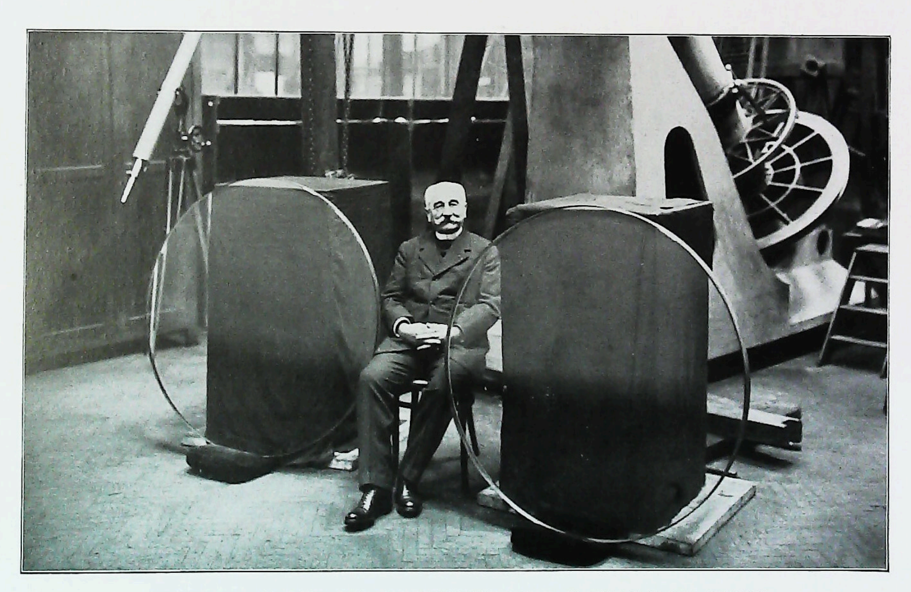


PLANCHE 3. — M. PARRA PRÈS DES DEUX DISQUES DE 1 m, 25 FONDUS PAR M. MANTOIS.
PLATE 3. — M. PARRA WITH TWO 50-INCH OPTICAL DISKS MADE BY MANTOIS.

PLANCHE 4. — Cette photographie du groupe de cratères lunaires : *Theophilus, Cyrillus* et *Catherina*, a été prise par l'auteur avec le réfracteur de $1^{m},02$ de Yerkes. L'objectif de cette lunette est un objectif *visuel*, mais il donne de belles photographies d'objets célestes brillants lorsque leurs images visuelles nettes sont projetées sur des plaques photographiques sensibles au jaune, à travers un filtre de lumière jaune.

Theophilus, cratère inférieur du groupe, a 103 kilomètres de diamètres et environ 6.000 mètres de profondeur : c'est le cratère le plus profond de la partie de la surface de la Lune visible de la Terre. Il est nettement d'une formation plus récente que ses voisins ; les innombrables arètes rayonnantes et les ravins de ses pentes extérieures peuvent être distinctement suivis à une distance de 160 kilomètres du bord du cratère. Les plus petits détails visibles ont environ 1 kilomètre de diamètre. Le télescope photographique moderne, représenté sur les planches 33 et 34 de cet atlas, employé avec tous les perfectionnements de technique photographique rendus possibles par ce type de télescope, nous permettra de photographier des détails lunaires cinquante fois plus petits que ceux que décèle ce cliché et qui n'auront pas plus de 20 mètres de diamètre. Ceci reviendra à observer à l'œil nu la surface lunaire à une distance de 17 kilomètres.

La Lune offre un profond intérêt pour la Science et pour l'éducation. Pour l'apprécier, il suffit de se rappeler que c'est le monde le plus voisin du nôtre : si proche que nous pouvons étudier les merveilleux détails de sa surface avec une exactitude relative. Un second point très important est que la Lune, sans air, sans eau et sans vie, représente incontestablement un des états ultimes de l'évolution d'un monde. Un troisième point d'égal intérêt est que la surface de la Lune, par suite de l'absence d'air et d'eau, n'est sujette à aucune force désagrégeante sauf le bombardement par les météorites et la dilatation ou la contraction dues à la chaleur et au froid extrêmes du jour et de la nuit lunaires. Aussi voyons-nous probablement avec notre télescope les détails principaux de sa surface exactement dans l'état où ils sont restés depuis un milliard d'années. Pour l'avenir, le géologue Shaler a dit : « *Telle qu'elle est*, notre Lune verra probablement s'éteindre le dernier rayon du Soleil... »

PLATE 4. — This photograph of a group of lunar craters, *Theophilus, Cyrillus* and *Catherina*, was taken by the writer with the 40-inch Yerkes refractor. The object-glass is a *visual* one, but gives fine photographs of *bright* celestial objects when its sharp visual image is utilized by means of yellow-sensitive photographic plates in combination with a yellow ray-filter. Theophilus, the lowest crater of the group, is 64 miles in diameter and about 18,000 feet deep ; it is the deepest crater on the part of the lunar surface which is visible from the Earth. Theophilus is clearly a later (newer) formation than either of its companions ; the innumerable radiating ridges and ravines of its outer slopes can be traced distinctly for a distance of 100 miles from the crater's rim. The smallest details shown are about two-thirds of a mile in diameter. The Super-Telescope, illustrated in Plates 33 and 34 of this book, together with the *refinements* of celestial photography, the use of which is made possible by that type of telescope, will enable us to photograph lunar details which are fifty times smaller than the smallest ones shown here, or about 70 *feet* in diameter; this corresponds to seeing the lunar surface at a distance of 10.6 miles with unaided eyes.

The Moon is of profound interest, both scientific and educational. To appreciate this we need only to remember that it is our *nearest other world* ; — so near that we can study the marvellous details of its surface with comparative thoroughness. A second point of great interest is that the Moon, without air, without water and without life, unquestionably represents one of the *final stages* in the evolution of a world. A third point, of equal interest, is that the Moon's surface, because of the absence of air and water, is subject to no disintegrating forces other than the bombardment of meteors, and those caused by expansion and contraction due to the extreme heat and cold of the lunar day and night. The result is that we see with our telescopes the larger details of its surface precisely as they have remained, probably for a thousand million years. As to the future, Shaler, the geologist, says : "*Just as it is*, our Moon will probably see the Sun's light go out".

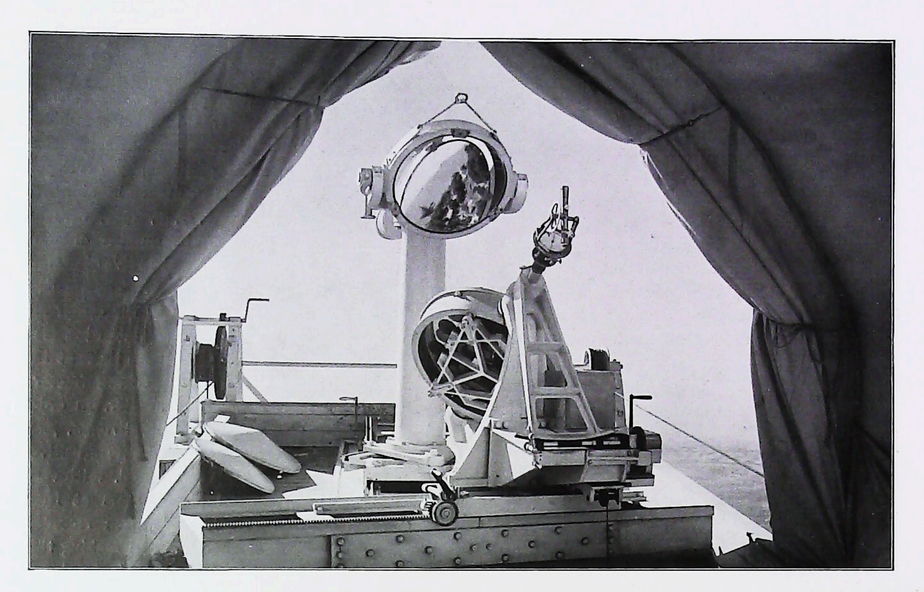


PLANCHE 5. — LE CŒLOSTAT DU TÉLESCOPE HORIZONTAL SNOW.
PLATE 5. — THE COELOSTAT OF THE SNOW HORIZONTAL TELESCOPE.

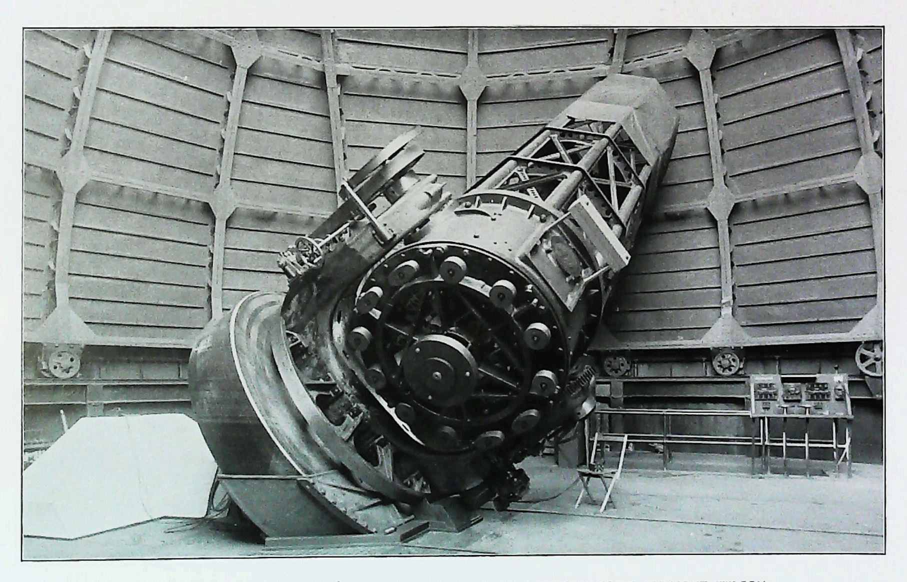


PLANCHE 6. — TÉLESCOPE ÉQUATORIAL DE 1 m, 52 DE L'OBSERVATOIRE DU MONT WILSON.
PLATE 6. — THE 60-INCH REFLECTOR OF MOUNT WILSON OBSERVATORY.

Planche 7. — Cette photographie d'un amas globulaire très dense est un exemple des résultats obtenus avec les perfectionnements apportés depuis 1910 par l'auteur dans la construction des télescopes et dans la photographie céleste. Elle a été prise par lui, avec le réflecteur de $1^{m},52$ les 6, 7 et 8 juin 1910, avec une pose totale de onze heures. 40.520 étoiles ont été comptées sur un agrandissement positif du cliché original. Les plus petites étoiles visibles dans les espaces sombres près du centre sont approximativement de la magnitude 21,3 à l'échelle d'Harvard et, par conséquent, près de cent fois plus faibles que celles qui sont à la limite de la visibilité dans la grande lunette de Yerkes de $1^{m},02$; leurs images mesurent seulement $1''$,03 de diamètre.

Afin que ces images soient petites et rondes, des plaques photographiques à grain fin, de sensibilité moyenne (plaque Seed 23) ont été employées. Avec des plaques commerciales de très grande sensibilité, les étoiles plus faibles d'une grandeur auraient pu être enregistrées avec le même temps de pose.

Pour obtenir cette photographie, ainsi que les autres faites au moyen du télescope de $1^{m},52$ et publiées dans cet atlas, une moyenne de *deux* corrections fut faite *par seconde*, pour rectifier le guidage ou les mouvements produits par les ondulations atmosphériques ; la remise au point par le procédé de la lame de couteau, et la correction de la rotation du champ (causée par la lente modification de la réfraction atmosphérique) furent faites chaque demi-heure au moins.

Beaucoup de faits connus sur les amas globulaires indiquent que chacun d'eux est composé de millions d'étoiles. Grâce aux possibilités actuelles de la photographie, nous pourrons peut-être le prouver avant dix ans. Les perfectionnements mécaniques permis par le type moderne photographique (Planches 33 et 34), joints aux perfectionnements de la technique photographique maintenant en usage dans les laboratoires, nous rendront capables de photographier des étoiles plus faibles d'au moins 10 grandeurs, donc environ 10,000 fois moins lumineuses que les étoiles de magnitude 21,3, les moins faibles visibles sur la planche ci-contre.

Plate 7. — This photograph of a dense *globular star-cluster* is an example of the results attained with the refinements of reflecting telescope construction and of celestial photography developed by the writer up to 1910. It was taken by him with the 60-inch reflector, June 6, 7, 8, 1910, with an exposure of eleven hours. The number of stars counted on a glass positive enlarged twelve diameters from the original negative is 40,520. The smallest stars shown in the dark spaces near the center are of about 21.3 magnitude of the Harvard scale; they are nearly 100 times fainter than those at the limit of visibility with the 40-inch Yerkes refractor; their images measure $1''$.03 in diameter. In order that these images should be *small* and *round*, *fine-grained* photographic plates of moderate sensitiveness, commercial *Seed* 23 plates, were used. With very highly-sensitive commercial plates, stars at least *one magnitude fainter* would have been recorded with the same length of exposure. In making this and the other 60-inch reflector photographs shown in this book, an average of two corrections *per second* were made *in guiding*, to correct for minute, irregular movements of the telescopic images due to atmospheric "tremors"; in addition, *refocusing* by the knife-edge method was done each half-hour or less; and correction for slight *rotation of field* (due to progressive change of atmospheric refraction) was made each half-hour.

Many facts in regard to the globular clusters indicate that each of them is composed of millions of stars; we may confidently expect that within the coming decade we shall prove this by actual photographs. The refinements of *construction* and of *operation* permitted by the modern type of photographic telescope illustrated in Plates 33 and 34, together with the refinements of *photographic technique* now developed *in the laboratory*, will enable us to photograph stars which are at least *ten magnitudes fainter*, that is, 10,000 times fainter, and on an average 100 times *farther distant*, than the 21.3 magnitude stars shown here.



PLANCHE 7. — L'AMAS GLOBULAIRE MESSIER 13, DANS LA CONSTELLATION D'HERCULE.
PLATE 7. — THE GLOBULAR STAR-CLUSTER MESSIER 13 HERCULIS.

Planche 8. — Partie centrale de la nébuleuse de la Dentelle N. G. C. 6995, dans la constellation du Cygne. Cette photographie a été prise par l'auteur avec le télescope de 1^{m},52 du Mont Wilson les 1er, 2, 3 et 4 juillet 1910, et avec une pose totale de 10 heures un quart. Une plaque à grain fin et à sensibilité modérée (Seed 23) a été utilisée. On aperçoit des nébulosités et des étoiles extrêmement faibles. Les étoiles les plus faibles visibles près du centre de la plaque sont au-dessous de la magnitude 21,5 de l'échelle d'Harvard.

La structure très délicate de la nébuleuse apparaît particulièrement près du centre, où les images données par le réflecteur newtonien sont les meilleures.

En ce qui concerne la photographie des très fins détails, plusieurs faits sont à noter. L'ouverture utile du télescope de 1^{m},52 a été réduite à 1^{m},26 lorsque le négatif a été pris ; dans ces conditions, le pouvoir grossissant théorique est d'environ 3.600 diamètres pour les objets célestes possédant une surface appréciable. Mais le grossissement actuel possible ou utile, avec le meilleur de ces négatifs faits sur plaques « Seed 23 », n'est que d'environ 360 diamètres, ce qui est obtenu en agrandissant douze fois le négatif original. Ceci s'explique en considérant que le grain de l'émulsion photographique et les irrégularités de la surface du verre des plaques commerciales empêchent la mise au point exacte. Beaucoup d'autres causes nuisibles semblables s'unissent pour rendre vain un agrandissement supérieur à 360 diamètres, ce qui, notons-le, n'est que le dixième du pouvoir théorique. Lorsqu'on aura remédié à toutes ces imperfections, comme on peut le faire par les méthodes actuellement mises au point dans le laboratoire, nous pourrons photographier avec une ouverture de 1^{m},26, des détails nébulaires dix fois plus petits que ceux montrés ici. Les perfectionnements apportés par l'auteur dans les questions mécaniques et dans la technique photographique ont été constamment poursuivis et améliorés depuis 18 ans, par des recherches ardues dans un laboratoire astro-photographique, et la Compagnie de Saint-Gobain a généreusement collaboré à la mise au point de quelques-uns des problèmes les plus importants.

Plate 8. — Central part of the filamentous nebula N. G. C. 6995. This photograph was taken by the writer with the 60-inch Mt. Wilson reflector, July 1, 2, 3, and 4, 1910, with an exposure of 10 1/4 hours. A fine-grained, moderately-sensitive photographic plate (*Seed* 23), was used. Extremely faint nebulosity and extremely faint stars are shown. The faintest stars seen near the center of the plate are below 21.5 magnitude of the Harvard scale. Very *small* nebular structure is shown, especially near the center, where the images given by the Newtonian reflector are sharpest. We note the following facts in regard to the photography of very *small* details. The aperture of the 60-inch reflector was reduced to 50 inches when this negative was taken. The *theoretical* photographic magnifying power due to this aperture is about 3600 diameters for celestial objects having extended surfaces. But the *actual* magnifying power possible or useful with the best of these negatives on *Seed* 23 plates is about 360 diameters, which is obtained by magnifying the original negative twelve-fold. The granulation of the photographic emulsion, the irregularities of the glass surfaces of commercial plates, which prevent accurate focusing, together with many similar injurious conditions, *united* to prevent greater total magnification than 360 diameters, or only *one-tenth* of the theoretical. When all of these injurious conditions are *completely remedied*, as they will be by methods *now developed* in the laboratory, we shall photograph, *with* 50 *inches aperture*, nebular details ten times finer than any shown here. The refinements of telescope construction and of photographic technique used by the writer in making these photographs have been continually improved and added to by him during the past 18 years, through intensive research in an *astro-photographic laboratory*. In some of the most important improvements he has had the close and generous collaboration of the Saint-Gobain Company.



PLANCHE 8. — PARTIE CENTRALE D'UNE GRANDE NÉBULEUSE DANS LA CONSTELLATION DU CYGNE.
PLATE 8. — PART OF A GREAT NEBULA IN THE MILKY WAY IN CYGNUS.

PLANCHE 9. — Moitié sud de la nébuleuse de la Dentelle N. G. C. 6.960, photographiée par l'auteur, avec le télescope de $1^{m},52$ les 12, 13 et 14 juillet 1915 avec une pose totale de 12 heures.

La finesse extrême des filaments qui s'étendent loin vers la gauche de la nébuleuse principale, la structure délicate des parties brillantes, la vaste étendue de la nébulosité et la remarquable courbure hyperbolique du bord gauche si bien accusé de la nébuleuse principale, tout indique l'existence de forces cosmiques qui comptent parmi les plus grands mystères de l'Univers.

Les photographies de l'auteur montrent que la nébuleuse entière, dont on ne voit ci-contre qu'une partie, coïncide exactement avec la limite ouest de l'un des grands nuages stellaires de la Voie Lactée et que, par suite, elle est probablement liée physiquement à ce nuage. Si nous admettons ceci et si nous supposons que ce nuage stellaire soit situé approximativement à 40.000 années-lumière de nous, ce qui est raisonnable, cette nébuleuse qui sous-tend, dans sa plus grande dimension, un angle d'environ 66 minutes d'arc, aurait une longueur totale d'au moins 750 années-lumière, soit plus de 45 millions de fois la distance de la Terre au Soleil. Des photographies à grand champ, faites par le Professeur Barnard, avec une longue pose et à l'aide d'un objectif à portraits de grande ouverture, montrent que les nébuleuses N.G.C. 6.960 et 6.995 (Planches 8 et 9) sont les parties les plus brillantes d'un cercle étonnant de nébulosités filamenteuses, ayant un diamètre d'au-moins 170 minutes d'arc, soit 1.900 années-lumière. Nous attendons avec grand intérêt les découvertes que nous fera faire sur ces mêmes objets ou sur des objets célestes semblables le grand télescope moderne du type fixe-universel (Planches 33 et 34), capable de photographier des détails au moins 60 fois plus fins que ceux visibles sur la planche ci-contre.

PLATE 9. — Southern half of the filamentous nebula N. G. C. 6960, photographed by the writer with the 60-inch reflector, July 12, 13, 14, 1915, with an exposure of 12 hours. The extremely *faint* filaments far to the left of the main nebula, the fine *structure* of the bright parts, the vast *extent* of the nebulosity and the exquisite *hyperbolic curvature* of the sharply-marked left edge of the main nebula, all indicate the existence of cosmic forces which are among the great mysteries of the universe.

The writer's photographs indicate that this entire nebula, only a part of which is shown here, coincides exactly with the western boundary of one of the great star clouds of the Milky Way, and therefore that probably it is *related physically* to this star cloud. If we assume this close relation, and that this star cloud is approximately 40,000 light-years distant — a reasonable estimate — then this entire nebula, the length of which subtends an angle of about 66 minutes of arc, has an actual length of at least 750 light-years, or more than 45 million times the distance from the Earth to the Sun. Large-field photographs, made by Professor Barnard with long exprosurs with a large portrait-lens, indicate that the nebulae N. G. C. 6960 and 6995 (Plates 8 and 9) are the brightest parts of a stupendous *ring* of filamentous nebulosity having a diameter of at least 170 minutes of arc, or 1900 light-years. We look forward with great interest to the study of this and similar celestial objects with super-telescopes of the Fixed Universal type (Plates 33 and 34), with which we shall photograph nebular details which are at least 60 times finer than any shown here.



PLANCHE 9. — PARTIE D'UNE AUTRE GRANDE NÉBULEUSE DANS LA CONSTELLATION DU CYGNE.
PLATE 9. — PART OF ANOTHER GREAT NEBULA IN THE CONSTELLATION CYGNUS.

PLANCHE 10. — Cette photographie a été faite par l'auteur avec le télescope de $1^m,52$ les 10 et 11 mars 1910, avec une pose de 7 heures et demie.

Messier 101 est l'une des nébuleuses spirales les plus grandes ou les plus proches ; sa distance a été estimée à environ 4 ou 5 millions d'années-lumière. Avec des poses plus longues, effectuées sur des plaques plus sensibles, on enregistre de faibles extensions des spirales bien plus loin que celles visibles ici.

Le plan équatorial de cette spirale est presque à angle droit avec la ligne de visée, aussi la voyons-nous sans qu'elle soit déformée par la perspective. Egalement pour cette raison, sa forme en spirale se continue distinctement presque jusqu'au noyau central. La structure générale des branches de la spirale est très nette et, avec de longues poses, on les voit formées de nébulositées floues, lumineuses, apparemment amorphes et composées d'un grand nombre d'agrégats, chaque condensation étant également fortement nébuleuse et formée de masses globulaires floues, semblables à des étoiles diffuses. De semblables agrégats existent en grand nombre dans les bandes de presque toutes les nébuleuses dites spirales, à condition qu'elles soient assez grandes ou assez proches pour permettre l'étude de ces détails par la photographie.

PLATE 10. — This photograph was taken by the writer with the 60-inch reflector, March 10 and 11, 1910, with an exposure of 7 1/2 hours. Messier 101 is one of the great or near spirals — its distance probably four or five million light-years. Still longer exposures made on more sensitive photographic plates show faint extensions of the spiral branches far beyond those shown here.

The equatorial plane of the spiral is nearly at right angles to the line of sight, so that we see it without foreshortening. In part for this reason, its spiral form is distinctly seen almost to the central nucleus. The structure of the spiral branches is very distinctly shown ; with this long exposure they are seen to consist of both soft, apparently amorphous luminosity, and also of large numbers of *aggregations*, each aggregation apparently strongly nebulous and composed of soft, globular masses which resemble nebulous stars. Similar aggregations are present in large numbers in the convolutions of many of the spirals which are large enough, or *near* enough, to permit a photographic study of their *details* to be made.



PLANCHE 10. — NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 101, DANS LA CONSTELLATION DE LA GRANDE OURSE.
PLATE 10. — THE SPIRAL MESSIER 101, IN THE CONSTELLATION URSA MAJOR.

PLANCHE 11. — Cette planche représente la partie centrale de la nébuleuse d'après le même cliché original, mais très agrandi. On remarque alors très nettement les fins détails de la structure spirale autour du noyau central, les détails des condensations brillantes des branches et les filaments sombres et accentués qui séparent ces mêmes branches.

Sans hésitation possible, les découvertes les plus importantes que nous devons jusqu'ici à la photographie céleste effectuée avec les télescopes, sont celles qui se rapportent aux nébuleuses spirales. Un nombre considérable de ces merveilleux objets a été enregistré sur nos photographies avec un degré de netteté et une richesse de détails qui sont une complète révélation, non seulement de la puissance de la photographie, mais aussi de la forme et de la structure symétrique et presque géométrique de ces spirales.

Grâce à la haute efficacité de la photographie dans ces recherches, de nombreux faits ont été établis qui indiquent que ces spirales *ne constituent pas* une partie de notre système stellaire (la Voie Lactée) mais qu'elles lui sont *extérieures*. Elles constituent en réalité d'autres systèmes semblables au nôtre, sinon identiques.

Cette similitude est prouvée d'une façon remarquable par les photographies de nébuleuses spirales (Planches 10 à 22) obtenues par l'auteur de 1909 à 1928 avec le télescope de $1^{m},52$.

PLATE 11. — Central region of Messier 101, highly enlarged from the same original negative. The fine details of the spiral structure around the central nucleus, the details of the bright aggregations in the spiral branches, and the sharply-marked *dark spiral lanes* which separate the bright convolutions are strongly shown.

Without question, the most important revelations thus far made by celestial photography with reflecting telescopes are those which relate to the spirals. Many of these marvellous objects have been recorded on our photographs with distinctness and richness of detail which are complete revelations, not only of the powers of photography, but also of the intricate, symmetrical, almost *geometrical* form and structure of these spirals. By means of celestial photography, many facts have been established which indicate that the spirals are *not a part of*, but are *exterior to*, our stellar system, the Milky Way ; — that they are indeeed *other* stellar systems which in many respects, if not in all, are similar to our own. As we examine the illustrations and descriptions of the spirals (Plates 10 to 22), we shall see that in at least *five independent respects* their similarity to our own stellar system has been proved by means of the writer's photographs taken with the 60-inch reflector in the years 1909 to 1918.



PLANCHE 11. — PARTIE CENTRALE, TRÈS AGRANDIE, DE LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 101

PLATE 11. — CENTRAL PART OF THE SPIRAL MESSIER 101 HIGHLY ENLARGED

PLANCHE 12. — Cette nébuleuse a été photographiée par l'auteur, avec le réflecteur de $1^{m},52$ du Mont Wilson les 6, 7 et 8 avril 1910. Pose totale : 10 heures 3/4.

C'est une des grandes spirales les plus intéressantes à cause de son éclat et de sa forme très remarquable qui donne l'impression d'une rotation rapide. Non seulement les détails des branches brillantes sont enregistrés avec une exactitude rigoureuse, mais la structure compliquée des régions peu lumineuses comprises entre ces branches est également bien distincte. Les détails les plus importants sont sans doute les masses globulaires très floues, ressemblant à des étoiles nébuleuses qui s'accumulent le long des branches principales de la spirale ; en effet ces détails sont *caractéristiques* de presque toutes les grandes nébuleuses spirales.

Une particularité extraordinaire de cette formation est la grande masse nébuleuse *non-spirale* qui termine l'une des deux branches principales, au bas de la plaque. Cet appendice n'est pas, en lui-même, d'une structure inusitée, mais il est difficile de comprendre pourquoi une masse, ayant cette structure, peut être liée physiquement à une spirale bien caractérisée. On peut, il est vrai, objecter que peu de spirales, peut-être trente ou quarante en tout, sont assez grandes ou assez proches pour que les meilleurs télescopes existants puissent photographier les détails de leur structure avec une grande netteté : aussi ne pouvons-nous pas établir de classification suffisante pour nous permettre de comprendre tous les cas possibles.

Avec le télescope moderne (Planches 33 et 34) et la nouvelle technique photographique, nous pourrions photographier des dizaines de milliers de spirales, au lieu de 30 ou 40, à une échelle suffisamment grande pour permettre une classification extrêmement efficace, à une échelle au moins soixante fois plus étendue qu'actuellement. Nous avancerons ainsi lentement, mais sûrement, au moyen de documents certains, vers la solution de cet ultime problème physique : la structure et l'évolution de l'Univers.

PLATE 12. — This photograph was taken by the writer with the 60-reflector, April 6, 7 and 8, 1910, with an exposure of 10 3/4 hours. Messier 51 is one of the most magnificent of the larger spirals because of its brightness and its very striking form, which gives the impression of rapid rotation. Not only are the details of the bright, main branches recorded with autographic accuracy, but the complicated structure of the fainter regions between them is distinctly shown also. The most important details clearly revealed by the long exposure — details which are characteristic of nearly all of the great spirals — are the soft, globular masses resembling nebulous stars, and aggregations of them, which lie in, and to a great extent constitute the main spiral branches.

An unusual feature of this spiral is the great, *non-spiral*, nebulous mass near the bottom of the plate, in which one of the main branches terminates. This appendage, in itself, is not of unusual structure ; but it is difficult to understand why a mass having this structure should be physically connected to a strongly-marked spiral. Our difficulty is due in part to the fact that only a few of the spirals, perhaps thirty or forty in all, are large enough, or near enough, to enable us to photograph the details of their structure with very great distinctness, even with the best existing telescopes. Therefore we cannot as yet, by means of *classification* of *great numbers* of them, gain an insight into the life-history of any given spiral. With the Super-Telescope (Plates 33 and 34), and the new celestial photography we shall photograph tens of thousands of spirals, instead of thirty or forty, on a scale sufficiently great for *highly-effective* classification — on a scale at least sixty times larger than at present. We shall thus advance, by *long, sure* steps, guided by *autographic records*, toward the solution of some of the greatest problems of the physical universe.



PLANCHE 12. — NEBULEUSE SPIRALE MESSIER 51 DANS LA CONSTELLATION DES CHIENS DE CHASSE.
PLATE 12. — THE SPIRAL MESSIER 51 IN CANES VENATICI.

Planche 13. — Le cliché original fut obtenu par l'auteur avec le télescope de $1^{m},52$ les 6 et 7 mars 1910.

Cette photographie particulièrement nette d'une grande spirale, vue presque exactement *par la tranche*, est d'un très grand intérêt. La partie centrale brillante est épaisse et sphéroïdale, tandis que les branches spirales sont, en comparaison, minces et bien moins lumineuses. Etant légèrement au-dessus du plan équatorial de la nébuleuse, nous voyons distinctement la partie supérieure du noyau brillant, tandis que la partie inférieure de ce noyau est presque cachée par les branches de la spirale, notamment par les filaments sombres de *matière obscure*, semblables à ceux que l'on observe sur les planches 14, 17, 18 et 19. On peut suivre nettement ces filaments sombres très raccourcis par la perspective dans la branche spirale supérieure droite et dans la branche inférieure de gauche. L'épaisseur de la région centrale brillante est d'environ le dixième du diamètre de la nébuleuse.

Cette photographie nous montre très probablement l'apparence qu'aurait notre système, la Voie Lactée, si nous pouvions le voir ou le photographier d'un point situé en dehors du système, à une distance de quelques millions d'années-lumière et près de son plan équatorial.

Remarquons que les nébuleuses spirales Messier 101 et Messier 51 (Planches 10 et 12) sont vues presque perpendiculairement à leur plan principal; que les nébuleuses Messier 81, Messier 33 et Messier 31 (Planches 14 à 19) sont raccourcies par la perspective; que la nébuleuse H. V, 24 (Planche 13) est vue presque de profil, et que la nébuleuse spirale H. II, 240 (Planche 22) se présente exactement par la tranche, autant que peuvent le montrer les meilleures photographies.

Plate 13. — This photograph was taken by the writer with the 60-inch reflector, March 6 and 7, 1910. Of profound interest is this exceptionally sharp photograph of a large spiral seen *nearly on edge*. The bright central region is large, thick and spheroidal, while the spiral branches are comparatively thin and much less bright. Since we are slightly *above* the extension of the equatorial plane of it, we see the upper half of the bright central spheroid unobscured, while the lower half is nearly hidden by the spiral branches, and especially by the dark, spiral " lanes " of *obscuring material* in them, which are similar to the dark spiral lanes seen in Plates 14, 17, 18 and 19. In H. V, 24 we can trace these dark lanes, *greatly foreshortened*, in the thin spiral branches at the upper right and lower left. The thickness of the bright central region is about one-tenth as great as the diameter or length of the spiral. This photograph probably shows us *very nearly* how our own stellar system, the Milky Way, would appear, if we could see or photograph it, not from *within* it, as at present, but from a point several million light-years outside of it, and lying nearly in the extension of its equatorial plane. We note that the spirals Messier 101 and Messier 51, (Plates 10 and 12), are seen only *slightly* foreshortened, the spirals Messier 81, Messier 33 and Messier 31, (Plates 14 to 19), are seen *much* foreshortened; the spiral H. V, 24, (Plate 13), is seen *nearly on edge*, and the spiral H. II, 240, (Plate 22), is seen *precisely* on edge, so far as the best photographs can show.



PLANCHE 13. — NÉBULEUSE SPIRALE H. V, 24 DANS LA CONSTELLATION DE LA CHEVELURE DE BÉRÉNICE.
PLATE 13. — THE SPIRAL H. V, 24 IN THE CONSTELLATION COMA BERENICES.

PLANCHE 14. — Le cliché original fut obtenu par l'auteur à l'aide du réflecteur de $1^{m},52$ du Mont Wilson le 21 mars 1917.

La région centrale d'apparence amorphe correspond à l'immense espace occupé dans la Voie Lactée par les étoiles et les nuages stellaires. Les " filaments sombres " de forme spirale, que l'on trouve dans cette région centrale, sont absolument analogues à ceux que le professeur Barnard a photographiés dans la Voie Lactée, au moyen d'un objectif à portraits de grande ouverture (Planches 20 et 21). Les étoiles nébuleuses rondes, qui forment une grande partie des branches de la spirale Messier 81, sont d'une telle dimension, par rapport à la spirale elle-même, qu'il est fort probable que ce sont des *amas globulaires d'étoiles*. Leur distribution dans la nébuleuse nous donne une image très vraisemblable de la répartition symétrique des amas globulaires de notre propre système (Planche 7) par rapport au centre galactique.

Nous pouvons fermement espérer que de meilleures photographies de Messier 81, obtenues avec le grand télescope moderne de 8 mètres (Planches 33 et 34) permettront de résoudre ces « étoiles nébuleuses » en milliers de composantes. De même, la partie centrale amorphe apparaîtra alors composée de myriades d'étoiles aussi distinctes et bien séparées que celles enregistrées par le professeur Barnard lorsqu'il photographia la Voie Lactée.

Lorsque nous avons vu l'étrange nébuleuse Messier 51 (Planche 12) nous avons remarqué le grand appendice amorphe qui terminait l'une des branches principales. Or, au nord de Messier 81, à une distance apparente d'environ une fois et demie son diamètre, existe une grande masse nébuleuse, non spirale, appelée Messier 82, qui présente les mêmes caractères que l'appendice amorphe de Messier 51. Peut-être ne s'agit-il là que d'une simple coïncidence ; Messier 82 peut fort bien être plus près ou plus loin de nous que Messier 81, et, dans ce cas, leur rapprochement ne serait qu'apparent et dû à un simple effet de perspective. Cependant on peut interpréter autrement cette remarquable coïncidence, et croire que jadis, il y a des millions d'années, Messier 81 et Messier 82 étaient peut-être reliés physiquement, tel que l'étaient Messier 51 et son étrange appendice, lorsque la lumière que nous enregistrons actuellement sur nos plaques s'élança à notre rencontre dans l'immensité inconcevable de l'espace.

PLATE 14. — This photograph was taken by the writer with the 60-inch Mt. Wilson reflector, March 21, 1917.

The large, apparently amorphous central region of Messier 81 probably corresponds to the vast haze of the individual stars and star clouds of our Milky Way. The " dark lanes ", chiefly of spiral form, of this great central region unquestionably correspond in their nature to the vast dark lanes which Professor Barnard has photographed in the Milky Way with a 10-inch portrait-lens, (Plates 20 and 21). The soft, round " nebulous stars " which lie in, and to a large extent constitute the spiral branches of Messier 81 are of such dimensions, as compared with the diameter of the spiral itself, that it is not improbable that some of them are the *globular star-clusters* of that remote stellar system; and it is not improbable that their *distribution* with reference to the center of the spiral gives us an approximately *accurate picture* of the symmetrical distribution of *our* globular star-clusters, (Plate 7), with reference to the physical center of our stellar system. We may confidently expect that in the better photographs of Messier 81 taken with the 8-metre Super-Telescope, (Plates 33 and 34), we shall see many of the " soft, nebulous stars " resolved into thousands of their component *real* stars; and that the large, amorphous central region will no longer appear smooth and amorphous, but will be resolved into myriads of individual stars as distinct and well-separated as are those in Professor Barnard's portrait-lens photographs of the Milky Way.

When we saw the very striking spiral Messier 51, (Plate 12), we noted the large, *non-spiral* appendage in which one of its main branches terminates. It is probably much more than *a coincidence*, that lying near and to the north of Messier 81, at an apparent distance from it only one and one-half times its diameter, is a great, non-spiral nebulous mass called Messier 82, which has the *same peculiar structure* as that of the strange appendage of Messier 51. Of course, Messier 82 may be far beyond or much nearer to us than Messier 81, in which case their proximity to each other is only *apparent*. On the other hand, this very remarkable coincidence may mean that in the far-distant past Messier 81 and Messier 82 were as closely connected physically as were Messier 51 and its strange appendage at the time, several million years ago, when the light with which we now photograph them started on its journey to us through the inconceivable depths of space.



PLANCHE 14. — NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 81 DANS LA CONSTELLATION DE LA GRANDE OURSE.
PLATE 14. — THE SPIRAL MESSIER 81 IN URSA MAJOR.

Planche 15. — Le cliché original fut obtenu par l'auteur au moyen du télescope de $1^m,52$ du Mont Wilson les 5, 6 et 7 août 1910.

Cet étonnant tourbillon, l'un des plus grands visibles dans le ciel, sous-tend un angle de plus d'un degré, soit plus de deux fois le diamètre angulaire de la Lune. Si sa distance est réellement de l'ordre de 900.000 années-lumière, comme l'a estimée Hubble à la suite de la découverte qu'il y a faite de Céphéides, son diamètre doit être d'environ 17.000 années-lumière, soit le quinzième de celui de notre galaxie. La planche 15 représente seulement la moitié environ du diamètre total de cette nébuleuse. Sur un positif sur verre très agrandi, un expert a pu compter, dans les branches de la spirale, 26.434 condensations nébuleuses, d'apparence stellaire, ainsi que 217 amas, petits ou grands. La longue pose employée (8 heures et demie) rend la plupart de ces amas assez fortement nébuleux. La difficulté du dénombrement était augmentée du fait que 2.350 étoiles, appartenant à notre système stellaire, étaient superposées à la nébuleuse par suite de la perspective.

La spirale entière est plongée dans un brouillard nébuleux, probablement dû aux innombrables millions d'étoiles trop faibles pour être enregistrées séparément par les télescopes actuels.

L'étude de ce cliché permet de prévoir ce que l'on pourra attendre prochainement de l'emploi de télescopes cent fois mieux adaptés à leur tâche que ceux que l'on emploie actuellement, lorsque nous pourrons mettre alors en évidence les étonnantes richesses de ces univers.

Plate 15. — The spiral Messier 33 in the constellation Triangulum, photographed by the writer with the 60-inch Mt. Wilson reflector, August 5, 6 and 7, 1910. This stupendous whirlpool, one of the two apparently largest in the heavens, is an absolute revelation. It subtends an angle of more than one degree, or more than twice the apparent diameter of the Moon. If its distance be of the order of 900,000 light-years, as estimated by Hubble through his discovery and study of Cepheid variable stars in it, then its *diameter* is of the order of 17,000 light-years, or about one-fifteenth as great as the diameter of our own stellar system, the Milky Way. Only about one-half of the total length of the spiral is shown in Plate 15. In a glass positive highly enlarged from the original negative, an expert has counted, in the spiral branches, 26,434 soft, star-like condensations, together with 217 *aggregations* of them, large and small. With this long exposure, most of these aggregations appear *strongly nebulous*. In this photograph 2,350 superposed stars are shown, which are members of our own stellar system. The entire spiral is involved in a soft, nebulous haze, probably due to countless millions of stars of that galaxy which are too faint to be recorded separately with present telescopes. This photograph foretells *in a very slight degree* what we shall see in the near future when we study these remote stellar systems with photographic telescopes and with every refinement of operation *both* a hundred-fold more adequate for the solution of these problems than are the crude instruments and methods now used.



PLANCHE 15. — LA GRANDE SPIRALE MESSIER 33, DANS LA CONSTELLATION DU TRIANGLE.
PLATE 15. — THE GREAT SPIRAL MESSIER 33 IN TRIANGULUM.

Planche 16. — Cette photographie à longue pose, qui est un agrandissement de la planche précédente, montre très distinctement les détails du noyau central, les amas d'apparence nébuleuse des branches et les masses et filaments sombres de matière obscure séparant les brillantes circonvolutions de la spirale.

La structure générale de Messier 33 est très semblable à celle de Messier 101 (Planches 10 et 11), mais elle diffère complètement de celle de Messier 81 (Planche 14) et de Messier 31 (Planches 17, 18 et 19). Ces deux dernières nébuleuses ressemblent beaucoup plus à notre système stellaire.

Nous voyons donc nettement que chaque nébuleuse spirale possède une structure particulière qui lui semble propre. Sans doute l'angle sous lequel nous voyons ces merveilles influe sur leur aspect, mais il est infiniment plus probable que les différences constatées proviennent principalement de l'âge de la nébuleuse. En effet, de même que les soleils qui les composent, les spirales évoluent lentement pendant les millions de millions d'années que dure leur vie cosmique et nous les photographions donc au hasard de leur évolution.

Le grand télescope moderne sera capable de nous fournir des images à grande échelle de plusieurs milliers de nébuleuses spirales. De plus, leurs détails seront beaucoup plus nombreux et plus fins que ceux visibles sur la planche ci-contre. Il sera donc facile de dresser une véritable classification des nébuleuses spirales et de lever un peu le voile qui nous cache leur constitution et leur évolution.

Plate 16. — Central region of Messier 33, highly enlarged from the same original negative. The details of the central nucleus, of the remarkable aggregations of soft, apparently nebulous stars in the spiral branches, and of the dark masses and lanes of obscuring material which separate the bright convolutions, are all revealed with great distinctness in this long-exposure photograph.

The general structure of Messier 33 is very similar to that of Messier 101 (Plates 10 and 11), but is markedly different from that of Messier 81 (Plate 14), and of Messier 31 (Plates 17, 18 and 19). The latter two spirals probably resemble very closely our own stellar system. We see clearly that each of the spirals has its own marked peculiarities of structure; this may be due in part to the degree of foreshortening at which it is seen, but unquestionably it is due far more to the *stage of development* of each. Just as every *individual sun* of each spiral passes through its successive stages of evolution probably requiring millions of millions of years, so these stupendous *whirlpools* of suns unquestionably pass through *their* progressive stages of development. Our Super-Telescopes will give us *large-scale* photographs of many thousands of spirals in *all stages* of evolution, and with the details of their structure far more minutely revealed than are those of Messier 33 in this 60-inch reflector photograph. By the *comparison* and *classification* of these, supplementend by the corresponding development of every line of investigation relating to this problem, we shall unfold the *life-histories of the spirals.*

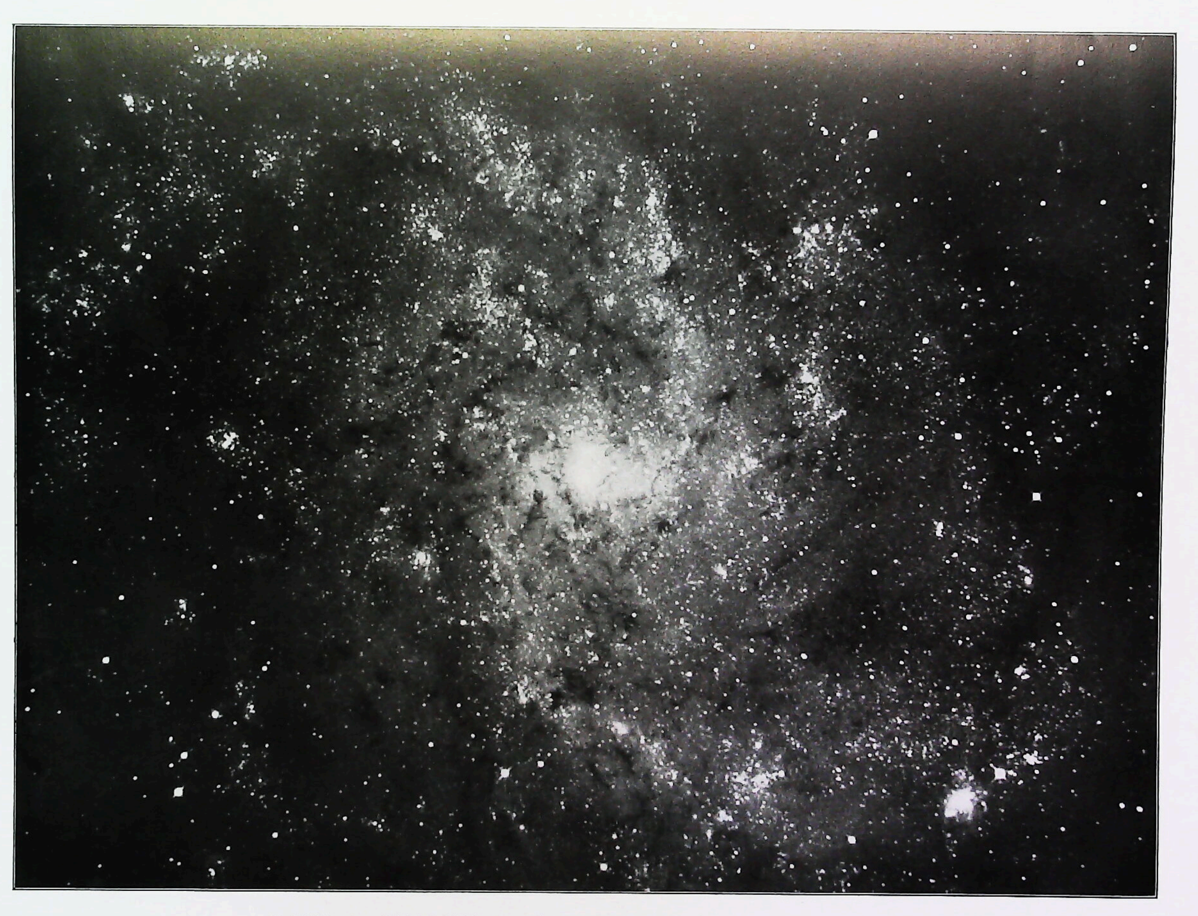


PLANCHE 16. — RÉGION CENTRALE, TRÈS AGRANDIE, DE LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 33.
PLATE 16. — CENTRAL REGION OF THE SPIRAL MESSIER 33, HIGHLY ENLARGED.

PLANCHE 17. — Cette photographie a été prise par l'auteur au moyen du télescope de $0^m,60$ de l'Observatoire Yerkes le 18 septembre 1901. C'est en apparence la plus grande des spirales et c'est probablement l'une des plus proches de nous. Si nous pouvions observer notre propre système stellaire, la Voie Lactée, d'un point extérieur convenablement placé, au lieu de le voir de l'intérieur comme à présent, il est probable qu'il ressemblerait beaucoup à cette grande spirale.

En 1917, l'auteur découvrit par la photographie, avec le télescope de $1^m,52$, une étoile nouvelle ou *nova*, dans l'une des plus petites nébuleuses spirales : H. IV, 76 de la constellation de Céphée. Cette importante découverte fournit la preuve que les nébuleuses spirales sont d'autres systèmes stellaires semblables au nôtre. Il fut alors procédé à des séries mensuelles de photographies de la spirale vraisemblablement la plus proche de nous, la grande nébuleuse d'Andromède, dans l'espoir d'y découvrir des novae. Quoique cela puisse paraître incroyable, il découvrit une moyenne d'une nouvelle nova par mois pendant plusieurs mois, toutes près du centre de la spirale et toutes trop faibles pour être vues avec les plus grands instruments. Ceci est un exemple frappant des possibilités de l'astronomie moderne inaugurée par l'emploi des grands télescopes photographiques. Une comparaison entre l'éclat moyen apparent de novae de Messier 31 et l'éclat moyen des novae de notre propre Galaxie montre que les premières sont environ 2.500 fois plus faibles que les autres. En admettant qu'en moyenne toutes les novae aient approximativement le même éclat absolu à leur maximum, quelle que soit leur place dans l'univers, le résultat ci-dessus, évalué en 1918, indique que la distance des novae dans la nébuleuse d'Andromède est environ 50 fois plus grande que la distance des novae de la Voie Lactée. Si enfin nous admettons 20.000 années-lumière comme distance moyenne de nos novae galactiques, nous trouverons que la distance de la grande nébuleuse d'Andromède est d'environ un million d'années-lumière et, puisque cette spirale sous-tend un angle de un degré et demi, son diamètre doit être de 45.000 années-lumière.

PLATE 17. — This photograph was taken by the writer with the 24-inch reflector, Yerkes Observatory, September 18, 1901. This is apparently the largest of the spirals: it is certainly one of the nearest. If we could view our stellar system, the Milky Way, from the proper distance and direction in outer space, instead of from a point *within* it as at present, it would probably resemble very closely this great spiral.

In 1917 the writer discovered, by photography with the 60-inch reflector, a *new star*, of the type technically called *novae*, in one of the smaller spirals called H. IV, 76 Cephei. This star burst out suddenly where none had existed before, as shown by his earlier photographs. This discovery afforded independent evidence that the spirals are other stellar systems similar to our own. The writer immediately commenced a *monthly series* of photographs of the *apparently nearest* spiral, Messier 31, in the hope that novae would be detected in it. Incredible as it may seem, he discovered a fresh nova *each month* for many months, all of them near the center of the spiral, and all far too faint to be detected with the greatest *visual* telescopes, — an illustration of the *new astronomy* made possible by the development of *modern photographic reflectors*. A comparison of the *average apparent brightness* of all of these faint novae in Messier 31 with the average brightness of all of the novae which have appeared in our own Galaxy, showed that the former were about 2500 times *fainter* than the latter. Assuming that, on an average, stars of this very peculiar type have approximately the same *intrinsic* brightness at their maxima, *wherever* they occur in the universe, the above result, secured in 1918, indicated that the *distance* of the novae in the Andromeda Nebula is about fifty times greater than the average distance of the novae of our own Galaxy. Taking account of every known fact which could affect an estimate of this latter distance, 20,000 light-years was adopted, which gave 1,000,000 light-years as the probable *distance* of Messier 31. Since this spiral subtends an angle of about two and one-half degrees, its *diameter*, corresponding to the above distance, would be about 45,000 light-years.



PLANCHE 17. — LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE, MESSIER 31.
PLATE 17. — THE GREAT NEBULA IN ANDROMEDA, MESSIER 31.

PLANCHE 18. — Le négatif original de cette photographie très agrandie a été obtenu par l'auteur le 13 octobre 1909, au moyen du télescope de $1^{m},52$ du Mont Wilson avec une pose de 2 heures. Les détails de la structure très complexe de la spirale, qui s'étend presque jusqu'au noyau, sont bien nets.

En 1910, une note de l'auteur, publiée dans « The Monthly Notices of the Royal Astronomical Society » attira l'attention sur la ressemblance marquée qui existe entre les filaments sombres compliqués visibles sur cette photographie et ceux que l'on trouve dans la voie Lactée, particulièrement près de Theta et 58 Ophiuchi et à l'est de Rho Ophiuchi, d'après les photographies prises par le professeur Barnard avec la lunette photographique Bruce. La comparaison des planches 13, 18 et 19 de ce livre et des planches 14, 19 et 23 de l'Atlas du professeur Barnard, fournit un témoignage impressionnant, d'après l'opinion de beaucoup d'astronomes qui ont étudié cette question, de la similitude absolue de la nature de ces traînées sombres dans les deux cas. Il ressort également de cette étude que le centre physique de notre Galaxie se trouve près de la constellation d'Ophiuchus. Deux des photographies du professeur Barnard sont reproduites planches 20 et 21 de ce livre.

A ce sujet, deux questions sont fréquemment posées : D'abord, pourquoi ne voyons-nous pas la forme spirale des filaments sombres de notre Voie Lactée ? Ensuite, pourquoi ne pouvons-nous pas voir ou photographier le noyau brillant de notre système ?

Si l'on veut bien étudier les planches 13 à 19 de cet ouvrage, les réponses à ces questions sont alors aisées.

Nous voyons en effet, par analogie, que les masses sombres et les filaments de matière obscure doivent se trouver dans le plan équatorial de la Voie Lactée ; d'autre part notre Soleil est placé également près de ce plan. Par conséquent, notre grand système spiral de matière obscure est vu presque *par la tranche*, et c'est lui qui produit la bifurcation bien connue de la Voie Lactée.

De plus, notre Soleil est placé *en dehors* de la principale spirale obscure, analogue à celle qui est visible à droite de la partie centrale de Messier 31 (Planches 18 et 19). La région centrale brillante de notre Galaxie est donc cachée en grande partie et l'étude de cette région est rendue difficile par les nuages de matière sombre interposée. Les Planches 20 et 21 montrent le mécanisme de ce phénomène.

PLATE 18. — The highly-enlarged central region of Messier 31, photographed by the writer with the 60-inch reflector, October 13, 1909, with an exposure of two hours. The complex spiral structure extending almost to the central nucleus is well shown.

In 1910, in the *Monthly Notices* of the Royal Astronomical Society, the writer called attention to the marked resemblance between the structure of the complex dark " lanes " shown in this photograph and that of the dark " lanes " in the Milky Way, especially those near Theta and 58 Ophiuchi and east of Rho Ophiuchi, photographed by Professor Barnard with the Bruce telescope of Yerkes Observatory, and shown in his *Atlas of Selected Regions of the Milky Way*. A comparison of Plates 13, 18 and 19 of the present book with Professor Barnard's Plates 14, 19 and 23 of that *Atlas* affords overwhelming evidence, in the opinion of many astronomers who have studied these photographs, not only that the *nature* of these dark lanes is *identical* in the two cases, but also that the *physical center* of our Galaxy lies near the constellation Ophiuchus. Two of Professor Barnard's photographs are reproduced in Plates 20 and 21 of the present book.

Two questions are asked frequently in regard to this resemblance : First, why can we not see or photograph the *spiral form* of the system of dark lanes in our Milky Way? Second, why can we not see or photograph the vast, *bright central region* of the Milky Way? The answers to these questions are not difficult when we have for guidance such photographs as Plates 13 to 19 of the present book. We see from analogy that the dark masses or lanes of obscuring material in the Milky Way lie chiefly in or near its equatorial plane ; our Sun, with its planets, is also located near that central plane ; therefore we see *our* great, spiral system of dark " lanes " of obscuring material nearly *on edge*, and *apparently dividing* the Milky Way. Further, our Sun is placed at a point *outside* of the *principal* spiral lane of obscuring material of our Galaxy, which is analogous to that seen above and to the right of the center of Messier 31 (Plates 18 and 19). Therefore, our view of the vast star clouds which constitute the brilliant central region of our Galaxy is in many places obstructed, and the details of this region are rendered difficult of interpretation, by the great, irregular structure of interposed, dark material. Plates 20 and 21 afford good examples of such obstruction of our view.



PLANCHE 18. — RÉGION CENTRALE, TRÈS AGRANDIE, DE LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 31 D'ANDROMÈDE.
PLATE 18. — HIGHLY-ENLARGED CENTRAL REGION OF MESSIER 31.

PLANCHE 19. — Cette photographie a été obtenue par l'auteur au moyen du télescope de $1^{m},52$ les 9, 10 et 11 octobre 1915.

Les détails de cette région sont d'une richesse et d'une intensité remarquables. Les courants stellaires et les groupes d'étoiles faibles, visibles sur les bords de la spirale, font certainement partie de cet immense univers ; plusieurs de ces étoiles sont peut-être même des étoiles géantes de cette galaxie.

. . . .

Les planches 13 à 19 viennent confirmer les cinq raisons qui portent à croire que les nébuleuses spirales sont *identiques* à notre propre système stellaire :

1° En 1909 et, d'une façon plus précise, en 1915, l'auteur fit remarquer la profonde similitude qui existe entre les filaments sombres des grandes spirales et ceux de la Voie Lactée (Planches 13, 14 et 17 à 21). 2° En 1915, il découvrit dans Messier 81 des courants et des groupes d'étoiles faibles, formés certainement d'étoiles individuelles (Planche 19). 3° En 1917, une photographie très nette de Messier 81 révéla dans les spires un grand nombre d'amas nébuleux séparés, dont l'apparence et la dimension indiquent qu'ils forment les amas globulaires d'étoiles de ce système (Planche 14). 4° La découverte par l'auteur, en 1917, de la première nova photographiée dans une nébuleuse, fut immédiatement confirmée par la découverte en 1917 et 1918 de nombreuses autres novae dans la nébuleuse Messier 31. 5° En comparant l'éclat apparent des novae de Messier 31 et l'éclat des novae de notre Galaxie, la distance et le diamètre approximatifs de la nébuleuse Messier 31 furent déterminés pour la première fois. Ce diamètre (50.000 années-lumière) est du même ordre de grandeur que celui de notre propre Galaxie, dont la dimension a été estimée par Shapley entre 200.000 et 300.000 années-lumière.

Nous nous rendons ainsi compte de la grande ressemblance qui existe entre les nébuleuses spirales et notre système stellaire.

L'importance de cette conception, la recherche de sa démonstration complète, la possibilité d'obtenir par la photographie de véritables preuves *graphiques*, enfin l'influence que de tels résultats ne manqueront pas d'exercer, dans l'avenir, sur la mentalité humaine, telles sont les raisons qui ont inspiré et guidé nos recherches.

PLATE 19. — Central region of Messier 31 photographed by the writer with the 60-inch reflector, October 9, 10 and 11, 1915. The details of this vast region are shown with marvellous richness and intensity. Streams and groups of *faint stars* are distinctly shown near the left and right edges of the spiral, which unquestionably are members of that galaxy. It is probable that many of these are *giant* stars of that stellar system.

In Plates 13 to 19 attention has been called to *five respects* in which the spirals have been shown by the writer's photographs to be similar to our own Galaxy. These five points are summarized here : (1) In 1909, and more decisively in 1915, he proved the remarkable similarity between the dark lanes in the great spirals and those in the Milky Way (Plates 13, 14 and 17 to 21). (2) In 1915 he discovered streams and groups of *faint stars* in Messier 31, which are clearly *individual stars* of that spiral (Plate 19). (3) In 1917 an extremely sharp photograph of Messier 81 showed many soft, separate globular masses in the convolutions, the *appearance* and *size* of which indicate that they are the globular *star-clusters* of that galaxy (Plate 14). (4) His discovery, in 1917, of the first *photographic nova* in a spiral was reinforced immediately by his discovery in 1917 and 1918 of *many successive* novae in Messier 31. (5) By a comparison of the apparent brightness of the novae in Messier 31 with the brightness of the novae in *our* Galaxy, the approximate distance, (1,000,000 light-years), and the approximate *diameter*, (50,000 light-years), of Messier 31 were determined for the first time ; this diameter is of the same *order* or *class* as that of our own Galaxy; the diameter of the latter is estimated by Shapley to be between 200,000 and 300,000 light-years.

We recognize the profound significance of this similarity of the spirals to our own stellar system. The importance of this conception and of its *complete demonstration*, the influence which such a result must exert upon the thought of the world, and the possibility of making this demonstration a *graphical, universal* one by means of *direct photographs*, — these are some of the reasons which have led to the researches of an astro-photographic laboratory, and to the development of the new types of optical mirrors and of the form of Super-Telescope described in this book. In this development the writer has had the priceless cooperation of the St-Gobain Company.



PLANCHE 19. — PHOTOGRAPHIE A LONGUE POSE DE LA PARTIE CENTRALE DE LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 31.
PLATE 19. — A LONG-EXPOSURE PHOTOGRAPH OF THE CENTRAL PART OF MESSIER 31.

PLANCHE 20. — Cette région de la Voie Lactée a été photographiée par le professeur Barnard au moyen de la lunette photographique Bruce, de $0^{m},25$ de l'Observatoire Yerkes. L'objectif de cette lunette est du type dit « à portraits ». Le champ net couvert utilement mesure environ 7 à 8 degrés de diamètre.

Les photographies de la Voie Lactée, obtenues avec ce petit instrument, prises avec un soin et une habileté extrêmes par le professeur Barnard, comptent parmi les documents les plus importants et les plus merveilleux de l'histoire de l'astronomie.

Sans aucun doute, la planche 20 montre l'un des immenses nuages uniformes d'étoiles qui constituent la partie centrale brillante de notre Galaxie, mais nous voyons ce nuage *à travers* un système de masses obscures, l'une des spirales sombres de notre nébuleuse galactique, correspondant à celle qui entoure les noyaux brillants de Messier 81 et de Messier 31. La structure étrange et compliquée des filaments sombres représentés sur ce cliché, ressemble beaucoup à la structure, non moins riche et compliquée, de ceux visibles près de la région centrale de Messier 31 (Planches 18 et 19).

PLANCHE 21. — Cette photographie a également été obtenue au moyen de la lunette photographique Bruce. Le professeur Barnard disait souvent que cette région, semblant constituée d'étranges flocons stellaires, était l'une des plus difficiles de toutes à expliquer. Mais si nous considérons cette région comme un nuage dense et uniforme d'étoiles, vu à travers une structure compliquée de matière obscure, l'explication de ce cliché devient des plus simples.

Supposons par exemple que nous soyons transportés sur une planète comprise dans la brillante branche spirale de Messier 31, juste en dehors du principal filament sombre visible à droite du noyau (Planche 19) ; imaginons également que cette planète soit près du plan équatorial de la spirale. En observant alors le noyau central brillant, nous aurons un spectacle céleste exactement analogue à celui représenté par la planche ci-contre.

La comparaison de la planche 13 de cet ouvrage avec les planches 18 à 23 de l'Atlas du professeur Barnard est également des plus instructives, de même que celle de la planche 14 de l'Atlas avec la région supérieure gauche de la planche 18 de ce livre.

PLATE 20. — A region of the Milky Way near the star Theta Ophiuchi, photographed by Professor Barnard with the 10-inch Bruce telescope, Yerkes Observatory. The lens of this telescope is of the portrait-lens type, and includes in one photograph an area of the sky seven or eight degrees in diamenter. Professor Barnard's photographs of the Milky Way taken with this small telescope, but with extreme care and skill, are among the most magnificent and important in astronomical history.

Unquestionably, in Plate 20 we see one of the vast, uniform star clouds which constitute the bright central region of our Galaxy ; but we see it *through* and *beyond* a great system of dark, obscuring material — one of the dark " spiral lanes " of our Galaxy — corresponding to those which surround the bright central regions of Messier 81 and of Messier 31. The strange and complicated structure of the dark lanes in the present photograph resembles closely the structure, *not less rich and complex*, of the dark lanes above and to the right of the bright central region of Messier 31 (Plates 18 and 19).

PLATE 21. — A region of the Milky Way near the star 58 Ophiuchi, photographed by Professor Barnard with the Bruce telescope. Professor Barnard frequently said that this region, *apparently* consisting of strange *tufts*, *patches* or *small clouds* of stars, was the most difficult of all to explain. But if we regard this region as part of a dense, uniform star cloud, which is seen through a complicated structure of dark, obscuring material, the explanation is simple, and is irresistibly supported by photographs *of other galaxies*. For example, let us imagine that we are on a planet in the *bright spiral branch* of Messier 31, just outside of the principal " dark lane " at the right of the brilliant central region in Plate 19 ; let us imagine also that this planet is near the equatorial plane of the spiral, and that we are looking at the bright central region through that complicated structure of obscuring material. A comparison of Plate 13 of the present book with Plates 18 to 23 of Professor Barnard's *Atlas* is most instructive, as is also a comparison of the branching dark lane shown in Plate 14 of that *Atlas* with the *similar* long, branching " dark lane " extending from the bright central region to the upper left corner in Plate 18 of the present book.



PLANCHE 20. — FILAMENTS SOMBRES, PRÈS DE THETA OPHIUCHI, D'APRÈS LE PROFESSEUR BARNARD.
PLATE 20. — PROFESSOR BARNARD'S PHOTOGRAPH OF DARK LANES NEAR THETA OPHIUCHI.



PLANCHE 21. — FILAMENTS SOMBRES, PRÈS DE 58 OPHIUCHI, D'APRÈS LE PROFESSEUR BARNARD.
PLATE 21. — PROFESSOR BARNARD'S PHOTOGRAPH OF DARK LANES NEAR 58 OPHIUCHI.

Planche 22. — Cette photographie a été obtenue par l'auteur au moyen du télescope de $1^{m},52$ du Mont Wilson, le 27 septembre 1916.

Si quelque chose dans l'Univers doit être plus imposant et plus impressionnant que les grandes spirales, c'est bien, nous semble-t-il, un champ comprenant un grand nombre de très petites spirales.

Est-il raisonnable de croire que les trois spirales les plus proches de nous (Messier 33, Messier 31 et notre propre Galaxie), sont actuellement les plus grandes et les plus importantes parmi les centaines de milliers que l'on peut photographier actuellement? Poser cette question, c'est la résoudre ; lorsque l'on voit des champs de spirales de plus en plus petites, on comprend que la différence des distances est la seule raison de la différence des dimensions apparentes et que la plupart d'entre elles sont de grandes spirales vues à des distances inconcevables.

Près du centre de la planche 22 est une nébuleuse spirale de moyenne dimension appelée H. II, 240 Pegasi, qui se présente exactement de profil. Le lecteur attentif trouvera près de quarante très petites nébuleuses spirales, principalement vers le haut et vers la gauche du cliché. Leur dimension et leur apparence diffuse les distinguent facilement des étoiles faibles ; les unes se présentent sous un angle plus ou moins accentué et paraissent elliptiques, d'autres sont vues presque exactement de champ. Les plus petites dont on puisse reconnaître la forme spirale ne mesurent sur ce cliché que 1 millimètre et demi, ce qui correspond à un angle apparent de 6 secondes ; la nébuleuse Messier 31 ayant un diamètre angulaire de 2 degrés et demi, soit 9.000 secondes, le rapport des diamètres apparents entre la plus grande et la plus petite spirale photographiée par l'auteur est donc de 1500. On peut donc croire que parmi les milliers de très petites nébuleuses spirales photographiées et même parmi les plus petites visibles sur la planche 22, quelques-unes, au moins, sont à une distance d'un milliard d'années-lumière.

Plate 22. — A region of small spirals in the constellation Pegasus : photographed by the writer with the 60-inch reflector, September 27, 1916. If any objects in the universe are more imposing and impressive than the *great* spirals, this and similar *fields* of *small spirals* must be so regarded by thoughtful students.

Is it reasonable to believe that the three spirals, Messier 33, Messier 31 and our own Galaxy, which happen to be the *nearest* ones to us, are actually the *largest* and *most important* among the hundreds of thousands which can be photographed with telescopes now in use? To ask this question is to answer it. As we study the photographs of fields of smaller and smaller spirals, it becomes evident that, in general, the small ones appear small because of their greater distance, and that many of them are *great* spirals seen in inconceivable depths of space.

Near the center of Plate 22 is a moderately large spiral called H. II, 240 Pegasi, which we see exactly *on edge*. The interested reader will find about forty very small spirals on this plate, most of them above and to the left of the large one. They are easily distinguished from the faint stars by their larger, softer appearance; many are seen foreshortened, and therefore appear elliptical ; many are seen nearly on edge. The smallest ones which are distinctly seen to be spirals measure, on this plate, 1.5 millimeters in length, corresponding to about six seconds of arc. Since Messier 31 has an apparent diameter of two and one-half *degrees* or 9000 seconds of arc, we see that the *apparent* diameters of the largest and smallest spirals photographed by the writer differ in the proportion of 1500 to 1. It is not improbable, therefore, that among the thousands of extremely small spirals discovered on his photographs, and even among the smallest ones distinctly seen in Plate 22, *some*, at least, are a thousand million light-years distant.



PLANCHE 22. — UN CHAMP DE PETITES NÉBULEUSES SPIRALES, PRÈS DE H. II, 240 DANS LA CONSTELLATION DE PÉGASE.
PLATE 22. — A FIELD OF SMALL SPIRALS NEAR H. II, 240 PEGASI.

Planche 23. — Le disque de verre du miroir de $2^{m},56$ du télescope Hooker, de l'Observatoire du Mont Wilson, a été coulé par la Compagnie de Saint-Gobain. A l'état brut, il mesurait $2^{m},59$ de diamètre, $0^{m},33$ d'épaisseur et pesait près de 5 tonnes. La planche 23 montre le miroir posé horizontalement sur la machine à tailler et à polir dans le laboratoire Hooker, à Pasadena. Sa surface concave est entièrement polie, mais non argentée. La chaise montre la dimension relative des différentes pièces.

Le miroir, vu ici horizontalement, peut occuper la position verticale (Planche 24) sans quitter sa table tournante capitonnée. Cette machine à tailler et à polir, avec laquelle on donne également à la surface du miroir la forme d'un paraboloïde, est de l'invention de l'auteur de cet ouvrage. C'est aussi le fruit de l'expérience acquise avec plusieurs petites machines optiques précédemment imaginées et utilisées par lui. A l'extrême droite est exposé l'outil à polir dont la surface convexe est recouverte de carrés de résine cirée.

Plate 23. — The disk of glass for the 101-inch mirror of the Hooker telescope, Mt. Wilson Observatory, was cast by the Saint-Gobain Company. In the rough state it was 102 inches in diameter and 13 inches thick, and weighed nearly five tons. Plate 23 shows the mirror lying horizontally on its grinding and polishing machine in the Hooker Laboratory, Pasadena. Its concave, polished, unsilvered surface is well seen. The chair shows the scale of the details. The mirror can be turned from the horizontal position seen here to the vertical position shown in Plate 24, without removing it from its cushioned turntable. This grinding and polishing-machine, with which the *figuring* of the mirror to a paraboloidal surface is done also, is the invention of the writer, and is the result of many smaller optical machines designed and used by him. The full-size polishing-plate, its convex surface covered with squares of waxed resin, is seen at the extreme right.

Planche 24. — Le miroir de $2^{m},56$, entièrement poli, mais non argenté, se voit placé sur champ pour l'épreuve optique. D'innombrables petites bulles emprisonnées dans le verre sont apparentes sur ce cliché, leur présence était inévitable dans une telle masse de verre dont la fonte fut extrêmement difficile. La partie concave du miroir, travaillée optiquement, est exempte de tout défaut de fabrication et lorsque le disque est supporté convenablement, sa surface brillamment polie de $2^{m},56$ de diamètre a la forme d'un paraboloïde de révolution, dont aucun point ne s'écarte de la surface théorique de plus de 8 cent-millièmes de millimètre. Le travail optique des miroirs de ce télescope, y compris les essais visuels journaliers, a été entièrement effectué par les soins de l'auteur de cet ouvrage et ceux de ses deux assistants : MM. Kinney et Dalton, qu'il avait exercés au travail optique. Un miroir optiquement plan de $1^{m},52$ de diamètre et pesant près d'une tonne, fut également taillé et utilisé dans le laboratoire pour les essais optiques du miroir de $2^{m},56$ et des deux miroirs hyperboloïdaux convexes de la combinaison Cassegrain.

Plate 24. — The 101-inch mirror, fully polished but not silvered, is shown supported on edge, for optical testing. Large waves of innumerable bubbles are seen in its interior; these are due to the difficulties encountered in *pouring* this unprecedented mass of glass. The front, concave, optical surface is free from bubbles. When this mirror is properly supported, its surface, 101 inches in diameter, (8012 square inches in area), is a brilliantly-polished *paraboloid* of revolution, with no errors of form greater than 0,000,003 inch. The optical work of the mirrors of the 101-inch telescope, including the daily, visual optical tests which determined every detail of their actual *figuring*, was done under the immediate personal care of the writer, with two assistants, Mr. Kinney and Mr. Dalton, both of whom he had trained in optical work. This work included the figuring of a 60-inch *test-plane*, weighing one ton, for the optical tests, in the laboratory, of the 101-inch paraboloid and of the two convex, *hyperboloidal* (Cassegrainian) mirrors.

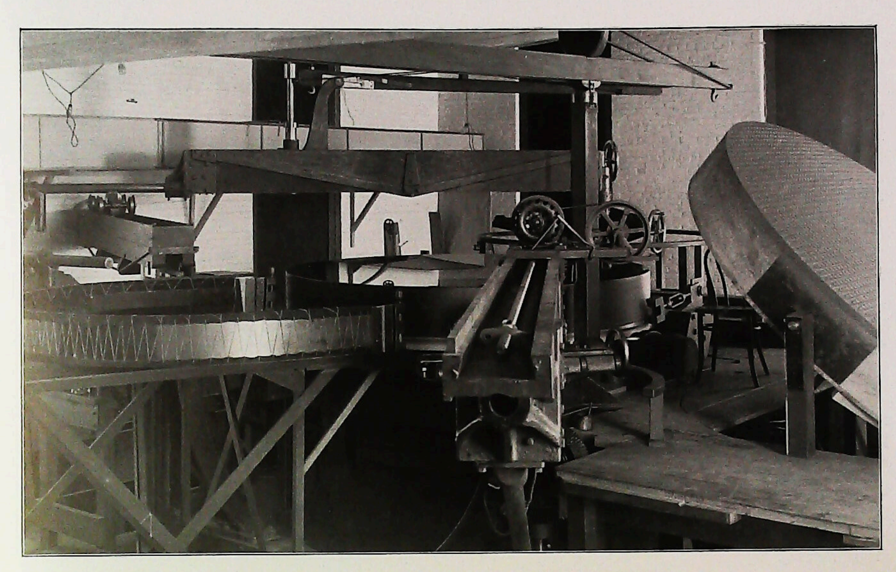


PLANCHE 23. — LE MIROIR DE 2 m, 56 DU TÉLESCOPE HOOKER.
PLATE 23. — THE 101-INCH MIRROR OF THE HOOKER TELESCOPE.

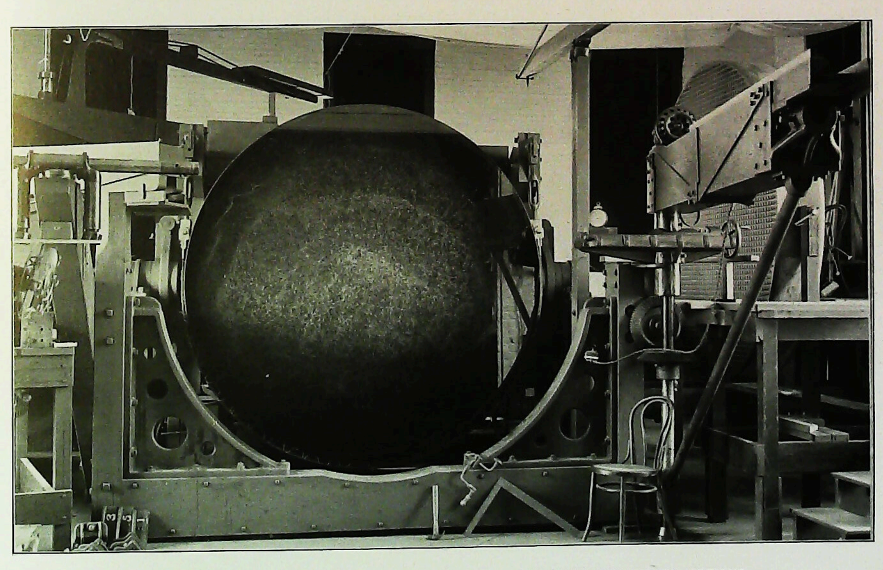


PLANCHE 24. — LE MIROIR DE 2 m, 56 PLACÉ VERTICALEMENT POUR L'EXAMEN OPTIQUE.
PLATE 24. — THE 101-INCH MIRROR IN THE VERTICAL POSITION FOR OPTICAL TESTING.

Planche 25. — Ce cliché montre la disposition des plaques de verre circulaires et des cloisons des *disques cellulaires ventilés* pour miroirs optiques, inventés par l'auteur. La construction cellulaire a pour caractéristique l'assemblage d'un certain nombre de plaques minces et choisies, en verre à faible dilatation, en pyrex ou en quartz fondu. Ce procédé est donc bien supérieur à celui qui consiste à fondre une énorme masse de verre presque impossible à produire, comme l'expérience passée le montre bien.

Les miroirs cellulaires ainsi construits sont extrêmement rigides et légers: leur poids ne dépasse pas le quart de celui d'un disque plein de mêmes dimensions.

Lorsque les miroirs optiques faits avec des disques cellulaires à cloisons perforées sont exposés aux changements de température qui se produisent ordinairement la nuit dans les coupoles ouvertes, ils ne subissent, grâce à leur aération forcée, aucune modification de forme ou de courbure générale qui puisse être décelée par les épreuves optiques les plus sensibles. Pour la première fois la construction de télescopes géants à cœlostat est ainsi rendue possible.

Plate 25. — We see the arrangement of the front and back circular glass plates and of the internal rib-system, (constructed of glass plates), of *cellular, ventilated* disks for optical mirrors, invented by the writer. The cellular construction permits the use of any desired number of comparatively small, easily-made, selected, tested, rigid *plates* of low-expansion glass, pyrex or fused quartz, instead of, as hitherto, one very large, thick disk almost prohibitively difficult to secure. The construction of cellular disks consists in building them up, part by part, by wholesale methods as accurate as the finest optical work. Cellular mirrors are extremely rigid and are light, weighing one-fourth as much as solid mirrors. Cellular mirrors having forced ventilation, when exposed to such temperature changes as occur in the open dome at night, do not suffer changes of *figure* or of *general curvature* large enough to be detected by the most sensitive optical tests. Very large fixed or cœlostatic telescopes of the highest optical performance are thus made possible for the first time.

Planche 26. — Cette photographie montre le système de cloisons d'un miroir cellulaire de 1 m, 52 de diamètre et d'environ 0 m, 23 d'épaisseur. Ce miroir a été constitué de plaques exceptionnellement minces (0 m, 0152 d'épaisseur) en vue de servir de modèle, construit à l'échelle pour l'établissement de miroirs dont le diamètre peut atteindre 4 à 5 mètres.

Toutes les plaques d'un miroir donné sont choisies et doivent avoir même coefficient de dilatation et même indice élevé de flexion. C'est avec une *précision optique* que les surfaces sont ajustées les unes aux autres par un procédé économique et rationnel, qui a été continuellement perfectionné depuis 1910. Par ce procédé et grâce au meilleur ciment mis au point depuis 1926, aucune couche continue de ciment ne subsiste entre les surfaces de verre. Seuls les interstices des fines granulations de verres sont remplis de ciment. Le contact *verre sur verre* est ainsi assuré. De tels miroirs sont *optiquement permanents*.

L'on voit sur le document une partie de la presse utilisée pour la cimentation du système de cloisons.

Plate 26. — This photograph shows the glass rib-system of a cellular mirror 60 inches in diameter and about 9 inches thick. This mirror was made of unusually *thin* plates (0,6 inch thick), in order that it might serve as a *model*, constructed to scale, for cellular mirrors up to 12 or 15 feet in diameter.

All plates used in a given mirror are selected for uniform coefficient of expansion and for uniformly high flexure-index. All surfaces which are to be cemented together are fitted to each other with optical precision, by economical, wholesale methods continuously perfected since 1910. With such fitting, and with the best cement developed since 1926, no continuous *film* or *layer* of cement remains between the fine-ground glass surfaces. Only the *interstices* of the fine grinding are filled by the cement. *Glass to glass* contact is secured. Such mirrors are *optically permanent*.

The photograph shows parts of the press used for cementing the glass rib-system together.

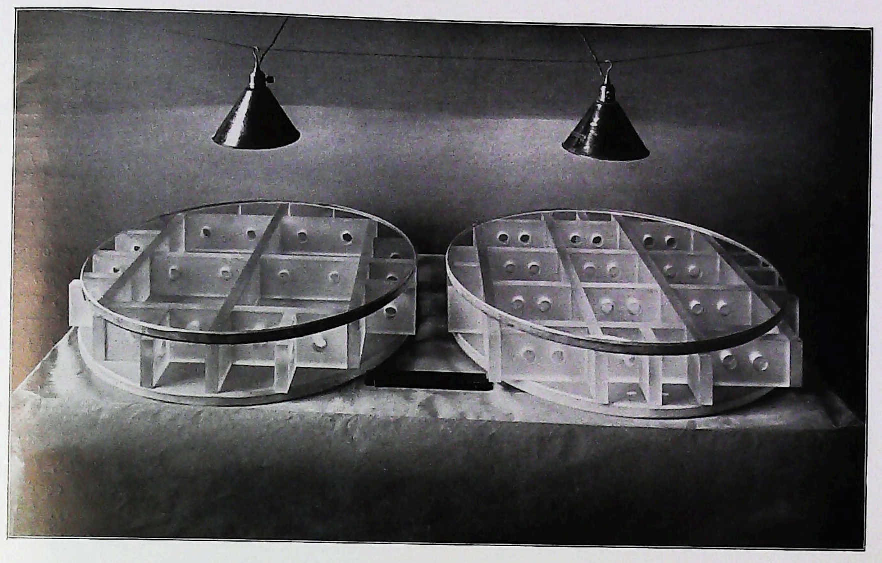


PLANCHE 25. — MIROIRS CELLULAIRES PLANS CONSTRUITS AU MOYEN DE PLAQUES DE VERRE.
PLATE 25. — CELLULAR PLANE MIRRORS CONSTRUCTED OF GLASS PLATES.

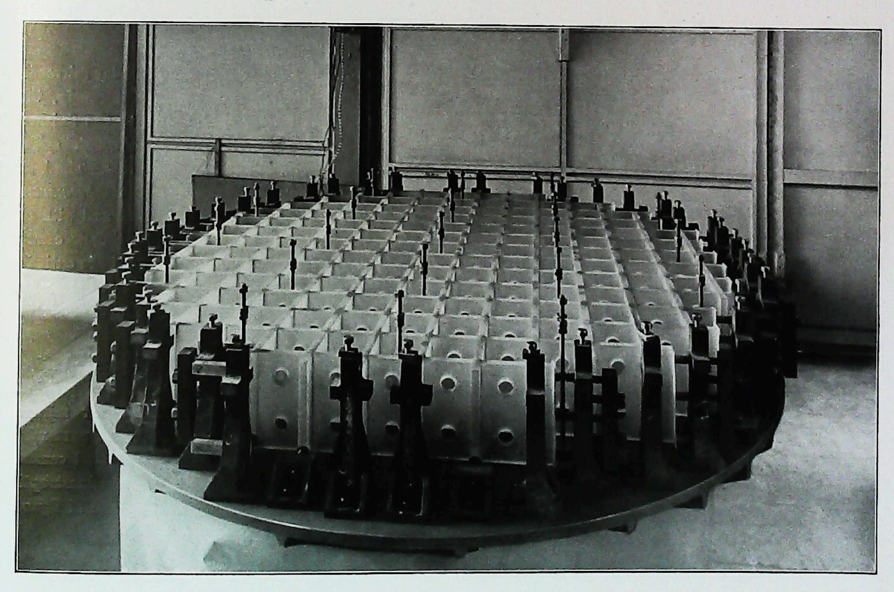


PLANCHE 26. — SYSTÈME CLOISONNÉ D'UN MIROIR CELLULAIRE DE 1 m, 52.
PLATE 26. — THE GLASS RIB-SYSTEM OF A 60-INCH CELLULAR MIRROR.

Planche 27. — Cette photographie montre le système de cloisons du miroir de $1^{m},52$ après que ses surfaces frontale et dorsale eurent été finement doucies pour s'appliquer exactement sur le disque frontal incurvé et sur le disque dorsal plat du miroir. La courbure de la surface inférieure est bien visible. L'ensemble des cloisons est supporté par un système de *flottaison mécanique* qui le soulève d'une quantité égale par un ensemble de 150 points convenablement disposés. Cette suspension mécanique, qui peut être employée dans toutes les positions possibles (même face en dessous) a été étudiée dans les laboratoires de l'auteur. D'après ce procédé, les miroirs cellulaires, même les plus grands, peuvent être soutenus *sans aucune flexion décelable optiquement*. Ceci s'applique également au nouveau système de support latéral du miroir, chacun des segments intérieurs ou extérieurs étant équilibré latéralement, indépendamment des autres segments ; autrefois, on se contentait de supporter *sur les bords seulement* les grands miroirs massifs.

Ceci est un exemple de l'un des cent problèmes vitaux qui ont été résolus au laboratoire. Il est à noter que la construction cellulaire nous permet de conserver l'emploi des matières vitreuses pour les miroirs optiques de très grandes dimensions et par suite permet de conserver les qualités optiques très élevées (semblables à celles de la surface d'un liquide) des surfaces vitreuses bien polies et convenablement argentées.

Planche 28. — Nous voyons ici le miroir cellulaire de 1 m, 52 dans la presse employée pour cimenter simultanément les deux plateaux circulaires au système cloisonné. La pression est appliquée au moyen de ressorts spiraux le long des nervures du système de cloisons intérieures.

Le meilleur ciment mis au point depuis 1926 atteint *sa condition permanente*, dans les joints du verre, dans l'espace de 96 heures et sans intervention de chaleur. Il y a suppression totale du large four et des longues chaleurs nécessités par la plupart des ciments anciennement employés. Les joints, convenablement cimentés, résistent mieux aux épreuves d'arrachement que la matière vitreuse elle-même.

Lorsque le ciment est bien pris, la surface concave du plateau circulaire frontal est finement doucie, polie et figurée optiquement selon les méthodes usuelles. Des miroirs cellulaires de 0 m, 50 de diamètre fabriqués en 1911 et 1912 avec des méthodes d'assemblage et de cimentation autrement primitives ont été employés continuellement comme plans d'épreuves optiques, sans modification décelable de leur surface.

Plate 27. — This shows a 60-inch glass rib-system after its front and back surfaces have been fine-ground to fit the curved, circular, front plate and the flat, circular, back plate of the mirror. The curvature of the lower surface is well shown. The rib-system is seen suspended on a *mechanical flotation-system* which " floats " it with an equal lift at each of 150 properly-distributed points. This flotation, and similar support in all positions of the mirror which can occur in use, (including *face-down*), have been developed in the writer's laboratory, to show the facility with which cellular mirrors, even of the greatest sizes, can be supported in the telescope *without perceptible flexures*. This applies also to the new *lateral* flotation, by which each of as many interior and exterior segments of a cellular mirror as desired is counterpoised *laterally, independently* of all other segments. This replaces the antiquated lateral support applied *at the edge* of large, *solid* mirrors. This is an example of a hundred equally vital refinements developed in this laboratory. The cellular construction retains the use of *vitreous* materials for optical mirrors of sizes hitherto unimagined, and thus retains the very high *reflecting power* and *optical quality*, (the liquid–like surface), of well-polished vitreous surfaces when properly silvered.

Plate 28. — We see the 60-inch cellular mirror in the press used for cementing, simultaneously, the front and back circular glass plates to the finished rib-system. Pressure is applied through spiral springs, and only in the lines of the ribs. The best cement developed since 1926 *sets* to its *permanent condition*, in the glass joints, in 96 hours and without heat. The large oven and the long heating necessary with many of the cements formerly used are entirely dispensed with. Well-cemented joints are stronger, under breaking tests, than the vitreous material itself.

When the cement is well set, the concave surface of the front circular plate is fine-ground, polished and *figured* optically, as usual. Cellular mirrors 20 inches in diameter, made in 1911 and 1912 with comparatively crude methods of fitting and cementing, have been used continuously as the finest optical test-planes, without perceptible change of figure.

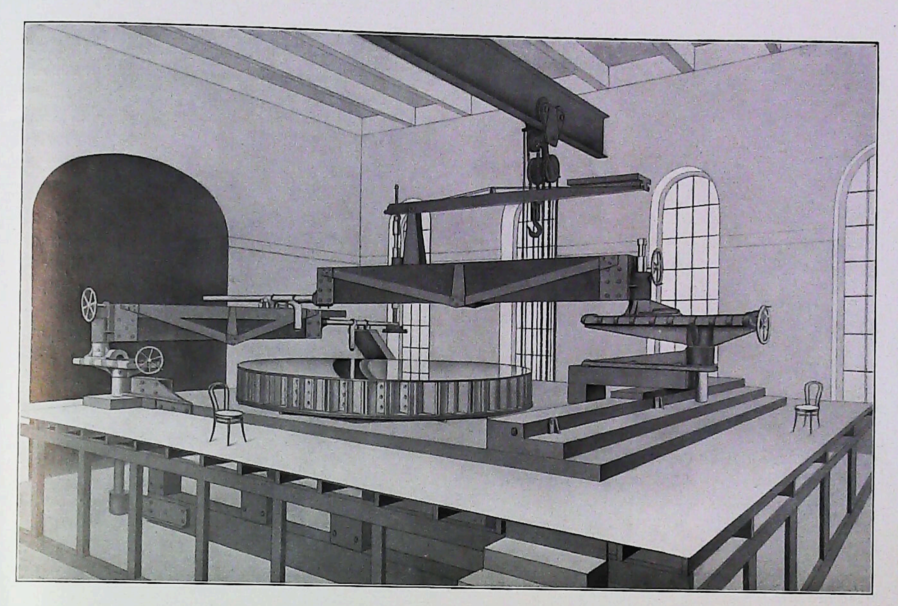


PLANCHE 29. — UN MIROIR CELLULAIRE DE 5 m. SUR SA MACHINE OPTIQUE.
PLATE 29. — A FIVE-METRE CELLULAR MIRROR ON ITS OPTICAL MACHINE.

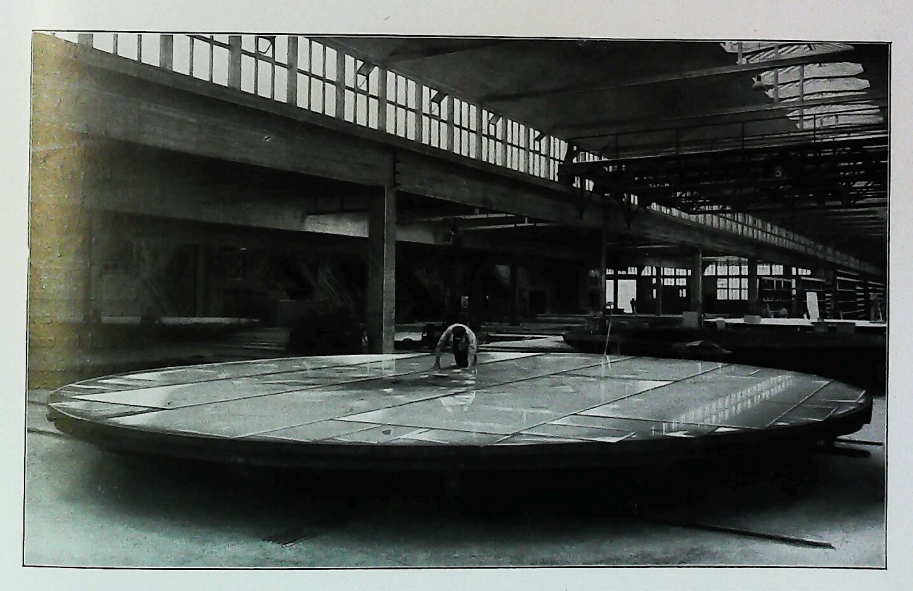


PLANCHE 30. — PLAQUE TOURNANTE DE 10 m. DE DIAMÈTRE UTILISÉE POUR LE POLISSAGE DES GLACES.
PLATE 30. — A TEN-METRE TURNTABLE OF A POLISHING MACHINE FOR PLATE-GLASS.

PLANCHE 31. — Le grand miroir de ce télescope est représenté sur les planches 23 et 24. Le plan d'ensemble de la monture, y compris l'emploi d'un axe horaire formé d'une cage fermée supportée par des flotteurs à mercure, a été mis au point en 1908 par l'auteur et son père, M. James Ritchey. Tous les détails accessoires de la monture actuelle sont l'œuvre d'autres personnes.

En septembre 1910, après le succès remporté par le télescope de $1^{m},52$ du Mont Wilson (Planche 6), l'auteur projeta, avec l'approbation chaleureuse de M. Hooker, de faire du télescope de $2^{m},56$ l'un des membres de la série des réflecteurs photographiques de plus en plus perfectionnés dont il avait, à cette époque, clairement entrevu la possibilité. Cette possibilité avait été accrue la même année par l'invention :

a) De la combinaison aplanétique Ritchey-Chrétien, formée de miroirs dont les surfaces taillées suivant de nouvelles courbures donnent des images extra-axiales incomparablement meilleures ;

b) Du type compact et économique de monture équatoriale rendu possible par ces nouveaux miroirs (Planche 32) ;

c) De la construction de miroirs optiques cellulaires (Planches 25 à 29).

Ces inventions autorisent l'emploi de perfectionnements sans précédent dans la construction et la permanence de l'ajustage des télescopes photographiques équatoriaux. M. Hooker offrit généreusement de rendre ces plans plus efficaces encore en ajoutant au laboratoire privé de l'auteur un laboratoire créé spécialement pour étudier les nouvelles émulsions photographiques et les plaques nécessaires à la photographie astronomique.

Les principaux avantages du télescope équatorial Ritchey-Chrétien (Planche 32) sur le type newtonien sont les suivants :

1° Le poids et le coût de la monture entière sont réduits de moitié. 2° La protection efficace des miroirs, du tube et de la monture contre les variations nuisibles de la température est pratiquement possible. 3° Les flexions du tube sont réduites au millième de leur valeur. 4° Une plate-forme économique pour les observateurs peut être montée équatorialement avec facilité ; il en est de même pour les rallonges extérieures du tube. 5° Le diamètre de la coupole et du bâtiment extérieur d'acier est réduit de moitié. 6° Le poids et le prix de la coupole sont réduits au huitième de leur valeur. 7° Le poids et le prix de la charpente d'acier sont réduits des deux tiers. 8° La brillance des images stellaires extra-axiales est accrue environ seize fois.

PLATE 31. — The great mirror is shown in Plates 23 and 24. The *general* design of this telescope, including the use of the closed fork, the upper and lower floats (in mercury), and other major details, were developed in 1908 by the writer and his father, James Ritchey. All designs of the minor details of the mounting, as actually constructed, are the work of others.

In September 1910, after the success of the 60-inch reflector, (Plate 6), had been demonstrated by the writer, he expected and planned, with Mr. Hooker's urgent approval, to make the 101-inch reflector an important member of the *progression* of *better* photographic telescopes, the possibility of which he foresaw clearly at that time. This possibility had been emphasized by the invention, in 1910, of (*a*) the Ritchey-Chrétien *aplanatic* combination of mirrors, having *new curves* of the mirror-surfaces which give incomparably better out-of-axis images ; (*b*) the compact, economical equatorial mounting made possible by these mirrors, (Plate 32) ; and (*c*) the cellular construction of optical mirrors, (Plates 25-29). These inventions permit the use of unprecedented refinements in the construction, permanence of adjustments, and operation of equatorial reflectors. Mr. Hooker offered to make these plans still more effective by adding to the writer's private laboratory a department for perfecting special photographic *emulsions* and *plates* for the special needs of astronomical photography.

Among the advantages of the Ritchey-Chrétien equatorial reflector (Plate 32), as compared with the best modern Newtonian reflectors, are the following : 1° Weight and cost of the mounting are reduced to one-half. 2° Effective protection of the mirrors, tube and mounting from injurious temperature effects is made practicable. 3° Flexures of the tube are decreased to one-thousandth part. 4° An economical, equatorially-mounted observer's carriage, and an automatic, exterior tube-extension are made practicable. 5° Diameter of the dome and of the cylindrical steel building are reduced to one-half. 6° Weight and cost of the dome are reduced to one-eighth. 7° Weight and cost of the cylindrical building are reduced to one-third. 8° The surface-intensity of out-of-axis star-images for needed fields is increased sixteen-fold.

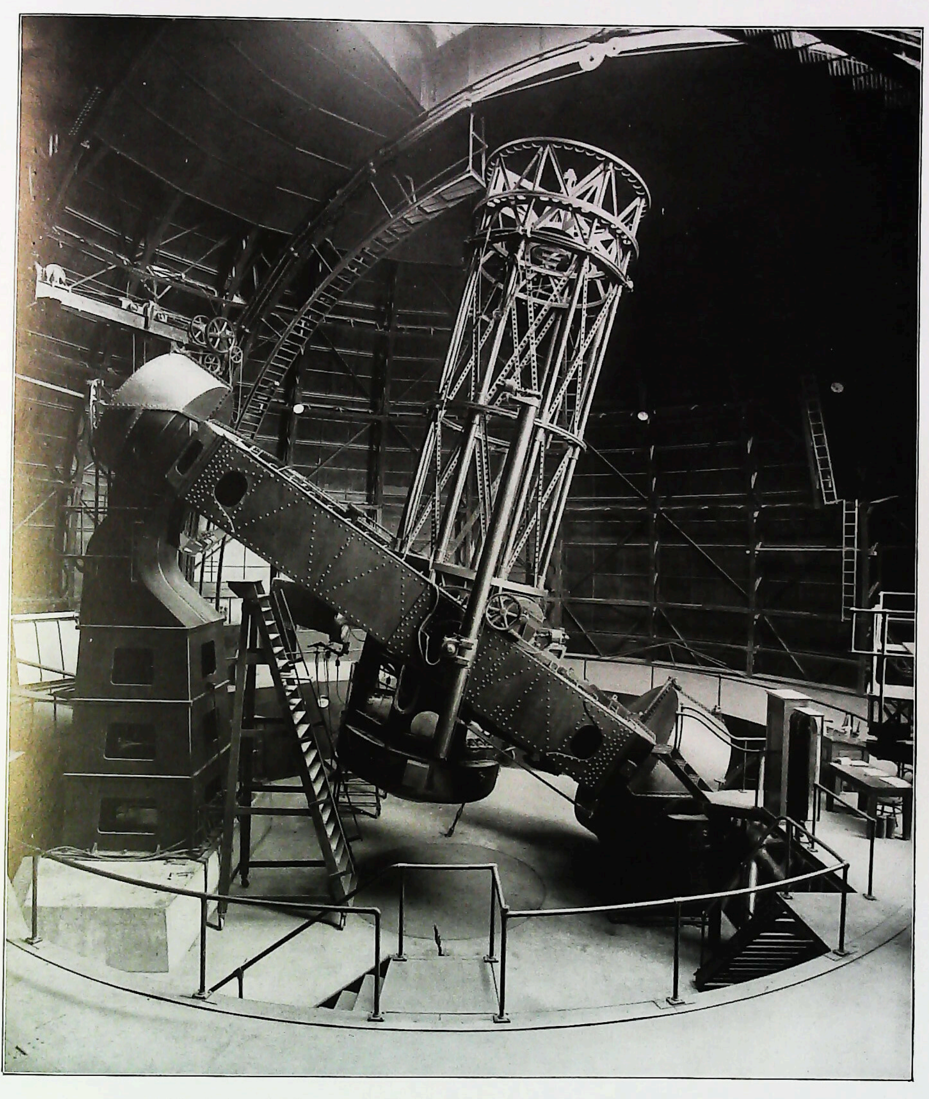


PLANCHE 31. — LE TÉLESCOPE HOOKER DE 2 m, 56 DE L'OBSERVATOIRE DU MONT WILSON.
PLATE 31. — THE 101-INCH HOOKER REFLECTOR, MOUNT WILSON OBSERVATORY.

Planche 32. — Les considérations suivantes sont destinées à bien montrer l'importance de nos projets :

1° Dans les meilleurs sites connus pour observatoires, les étoiles de magnitude 6,5 sont visibles à l'œil nu. 2° Dans les sites ordinaires, les étoiles cent fois plus faibles que celles de magnitude 6,5, soit de magnitude 11,5 sont vues facilement avec un bon télescope de $0^{m},10$ d'ouverture. 3° Pour déceler visuellement les étoiles encore cent fois plus faibles (de magnitude 16,5) il faudrait employer un télescope dix fois plus grand, soit de 1 mètre d'ouverture. 4° Pour déceler les étoiles encore cent fois plus faibles que les précédentes (de magnitude 21,5) il faudrait un instrument de 10 mètres d'ouverture et, si l'on emploie une lunette, son objectif ne devra pas absorber plus de lumière, par unité de surface, qu'un objectif de un mètre, condition impossible à réaliser actuellement en ce qui concerne les réfracteurs (Planches 2 et 3). Mais, grâce à la photographie, en employant le télescope de $1^{m},52$ diaphragmé à $1^{m},25$ (Planche 6) et des émulsions de sensibilité modérée (Seed 23), l'auteur a pu, en 1910, photographier des étoiles de magnitude 21,5, donc cent fois plus faibles que celles qui sont à la limite de la visibilité dans la grande lunette de $1^{m},02$ de Yerkes (Planche 1). Notons que ce résultat fut obtenu, non par la grande ouverture du télescope, mais bien plus par l'emploi de la photographie et l'application des perfectionnements de technique mis au point à cette époque. 5° Si M. Hooker avait vécu, le télescope de $2^{m},56$ aurait été construit selon le type compact et économique représenté planche 32. Cette monture permet d'employer des méthodes infiniment plus rationnelles que celles utilisées précédemment avec le télescope newtonien de $1^{m},52$. Ces perfectionnements, joints au pouvoir séparateur deux fois plus élevé du nouvel instrument et complétés par l'emploi d'émulsions photographiques spéciales coulées sur des glaces taillées suivant un profil déterminé, auraient permis de franchir aisément un nouveau pas et de photographier des étoiles cent fois plus faibles encore, c'est-à-dire de magnitude 26,5.

Plate 32. — To illustrate the importance of the new plans, we note the following series : (*a*) At the best observatory sites, stars of 6.5 magnitude can be seen with unaided eyes. (*b*) Stars 100 times *fainter* than 6.5 magnitude, or 11.5 magnitude stars, can be seen with a good 4-inch visual telescope. (*c*) To detect *visually* stars 100 times fainter still, or of 16.5 magnitude, we must have a telescope with ten times greater aperture, a 40-inch aperture. (*d*) To detect *visually* stars 100 times fainter still, or of 21.5 magnitude, we must have a telescope of about 400 inches (33 1/3 feet) aperture ; if it be a *refractor*, its objective must have no greater *absorption* per unit of area than that of the 40-inch objective, — conditions which, for *refractors*, are impossible by any means known, (Plates 2 and 3). But by means of *photography*, using 50 inches aperture of the 60-inch reflector, (Plate 6), with photographic emulsions of moderate sensitiveness, (*Seed* 23), the writer, in 1910, photographed stars of 21.5 magnitude, stars 100 times fainter than those at the visual limit of the 40-inch Yerkes refractor, (Plate 1). This result was attained, *not* by a very great aperture, but by *direct photography* and by the use of refinements of mechanical, optical and photographic technique which he had developed up to that time. (*e*) If Mr. Hooker had lived, the 101-inch reflector would have been constructed in accordance with the improved, compact, economical type shown in Plate 32, which permits incomparably greater technical refinements to be used than are practicable with a *Newtonian* equatorial reflector such as the 60-inch. With these refinements, with an aperture twice as large as that of 50 inches used in making the 60-inch reflector photographs, and with *special photographic emulsions* coated on properly-curved, *accurate glass surfaces*, the *next* step of this series, namely, the photography of stars 100 times fainter than those of 21.5 magnitude, or 26.5 *magnitude stars*, would have been accomplished easily with the 101-inch Hooker reflector.

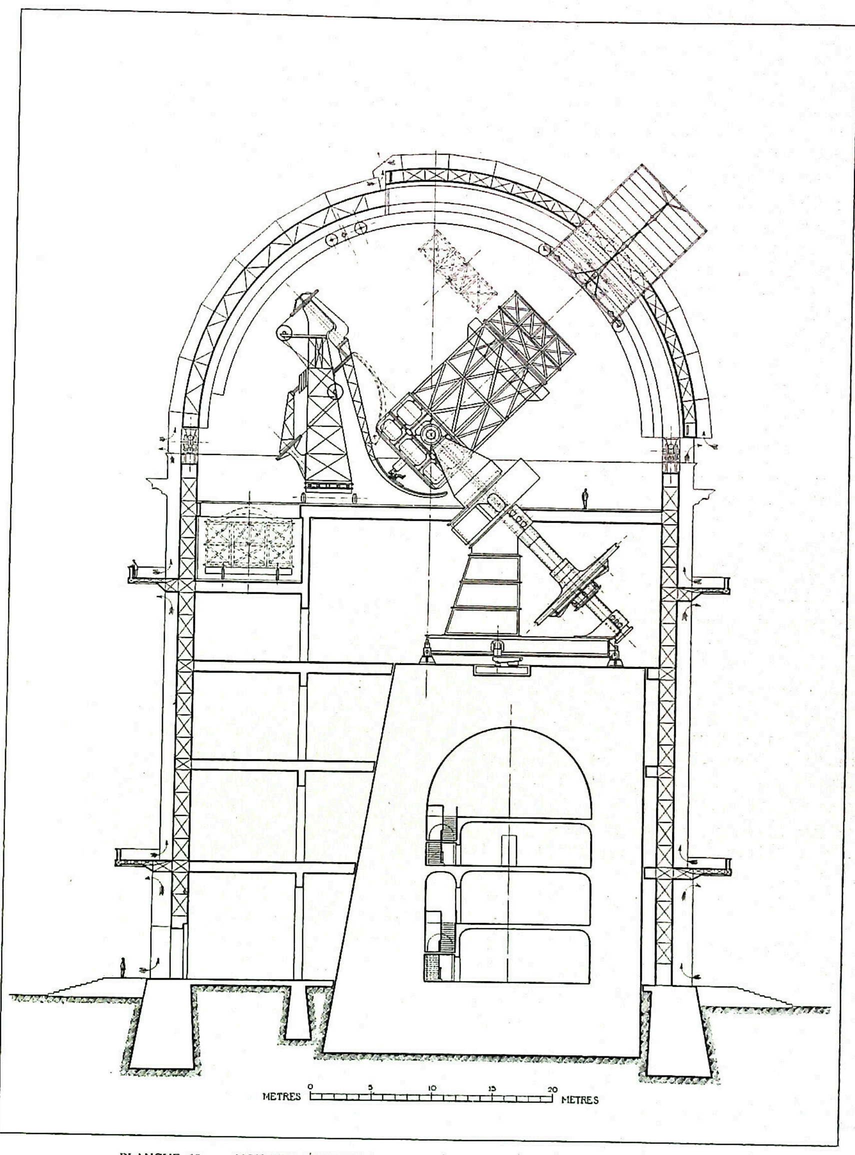


PLANCHE 32. — MONTURE ÉQUATORIALE DU TÉLESCOPE APLANÉTIQUE RITCHEY-CHRÉTIEN.
PLATE 32. — EQUATORIAL MOUNTING OF THE RITCHEY-CHRÉTIEN APLANATIC REFLECTOR.

Planche 33. — Pour déceler visuellement des étoiles de magnitude 26,5, il faudra employer un instrument de *cent* mètres de diamètre. Il est évident que, *seuls*, les miroirs optiques cellulaires (Planche 25), combinés avec la monture fixe verticale (Planches 5 et 33) peuvent atteindre une telle ouverture et être utilisés *efficacement*. Ceci démontre l'énorme supériorité des nouvelles méthodes.

Un télescope photographique de 5 mètres d'ouverture, du type fixe-universel (Planche 33), nous permettrait de photographier des étoiles cent fois plus faibles que les étoiles de magnitude 26,5 qui viennent d'être considérées, donc de magnitude 31,5. Pour obtenir ce résultat, il faudra appliquer *tous* les perfectionnements mis au point dans nos laboratoires de 1908 à 1929. Le télescope fixe-universel est le seul type connu permettant de les employer *simultanément*, avec leur maximum d'efficacité.

Dans ce modèle, l'observateur, qui ne change jamais de place, est confortablement installé dans une position commode, ce qui facilite beaucoup les longues observations ; les miroirs cellulaires, légers et ventilés, sont insensibles aux variations de la température (Planche 25) ; le système de flottaison mécanique les supporte sans flexion possible ; le poids du cœlostat, la seule pièce mobile du télescope, est entièrement supporté par des flotteurs à mercure et les divers engrenages sont taillés et polis avec une précision optique.

Le corps vertical et fixe du télescope occupe le centre d'un bâtiment de béton et ses flexions sont absolument nulles. D'épaisses couches de liège le protègent contre les variations thermiques. On assure ainsi la permanence d'alignement et de centrage des différents miroirs d'une façon pratiquement parfaite.

Le télescope fixe-universel comprend cinq télescopes complets dans la même monture, interchangeables électriquement en moins de cinq minutes. Pour cela, les miroirs principaux et auxiliaires, supportés par des galets sur des rails horizontaux (E et F), se déplacent avec précision pour occuper leurs places respectives dans la combinaison optique employée ; les grands accessoires sont amenés à leur position d'utilisation par une manœuvre analogue (K). La coupole, le tube, le cœlostat (A) et le second miroir plan (B) servent indistinctement pour les cinq télescopes interchangeables prévus.

La planche 33 montre l'un des télescopes du type fixe-universel ; l'ouverture des grands miroirs est de 8 mètres et la longueur focale des combinaisons varie de 20 mètres à 400 mètres. *(A suivre).*

Plate 33. — To detect *visually* those 26.5 magnitude stars would require an aperture of about 330 feet. Only by means of the built-up, cellular construction of optical mirrors (Plate 25), and of a *fixed* type of *reflecting* telescope, (Plates 5 and 33), could we *attain* and *efficiently use* such an aperture. This illustrates the unique possibilities of the new methods of construction and operation.

With a photographic reflector of only five metres, (16.4 feet), aperture and of the fixed universal type, (Plate 33), we shall photograph stars 100 times fainter than the 26.5 magnitude stars just considered, or 31.5 magnitude stars. To accomplish this result with this aperture we must utilize *all* of the refinements developed in the writer's laboratories from 1908 to 1929. The Fixed Universal reflector is the *only known type* which permits all known refinements to be utilized simultaneously, under the most favorable laboratory conditions, and to the utmost limit of their possibilities.

The observers work always in a stationary, comfortable position, *as at their desks*. The mirrors are light, cellular and ventilated, their optical form unaffected by temperature changes, (Plate 25) ; they are supported without sensible flexure, by mechanical flotation, (Plate 27). The weight of the cœlostat mirror and its cell, (A), the *only parts which move* during an exposure, is *entirely* floated in mercury ; their rotating-mechanism is fine-ground and polished with optical accuracy. The stationary, vertical, square telescope-tube is near the center of the massive, inner, concrete building ; its flexures are immeasurably small ; it is insulated with thick layers of cork ; its expansion and contraction are very slow and small. *Permanence of alignment* of all optical mirrors is therefore *practically perfect.*

This Fixed Universal telescope embodies *five complete telescopes* in one, interchangeable by electric power in four minutes. The mirror carriages, (E and F), for this purpose move smoothly and accurately on straight, horizontal rails ; the same applies to the interchangeable *laboratories* containing the great accessory instruments, (K). The same dome, building, tube, cœlostat, (A), and second plane mirror, (B), serve for *all* of the five interchangeable telescopes.

In Plate 33 an 8-metre Fixed Universal telescope is shown, drawn to scale. The *apertures* of the five component telescopes are all equal, 8 metres or 26 1/4 feet; but their *focal lengths* are all different, varying from 20 metres to 400 metres. *(Continued).*

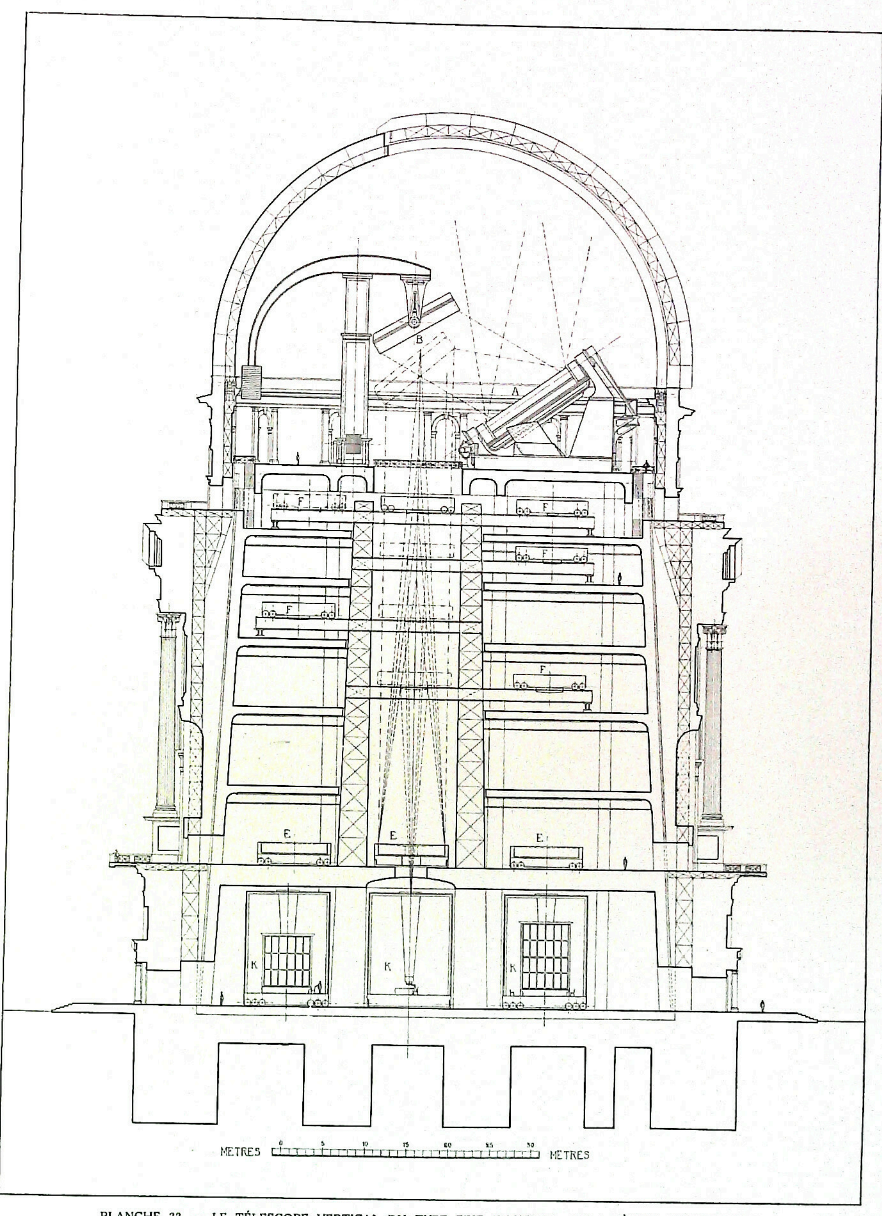


PLANCHE 33. — LE TÉLESCOPE VERTICAL DU TYPE FIXE-UNIVERSEL, DE 8 MÈTRES D'OUVERTURE.
PLATE 33. — THE 8-METRE FIXED, VERTICAL, UNIVERSAL TELESCOPE.

Planche 34. — La plus courte des cinq longueurs focales de ce télescope, soit 20 mètres, utilisera la combinaison Schwarzschild, comprenant deux miroirs concaves, un grand et un petit, taillés à la courbure convenable. Cette combinaison donne des images extrêmement nettes dans un champ utile atteignant plus de 2 degrés de diamètre.

Chacune des quatre autres longueurs focales plus grandes (50, 100, 200 et 400 mètres) seront obtenues par la combinaison Ritchey-Chrétien (un grand miroir concave et un petit miroir convexe) dont la définition est extrême dans un champ relativement étendu. Ces grandes longueurs focales théoriques sont toutes atteintes avec 2 miroirs seulement et sans augmenter la dimension instrumentale du télescope. Les dispositifs optiques sont tous interchangeables rapidement et automatiquement, même en pleine nuit ; ils augmentent considérablement l'efficacité de ce télescope.

Le perfectionnement des émulsions photographiques, en ce qui concerne leur sensibilité et la finesse de leur grain est également extrêmement important. Les recherches faites à ce sujet au laboratoire sont déjà fort avancées.

Afin d'utiliser cet instrument avec son efficacité maxima, il sera nécessaire d'instruire un personnel technique spécial pour son entretien journalier, et surtout pour le travail très délicat du guidage photographique.

Des recherches systématiques seront faites pour découvrir les meilleurs sites propres à la construction de ces observatoires géants. On choisira de préférence les hautes altitudes, les climat doux et extrêmement secs. L'auteur de cet ouvrage a personnellement trouvé, après de longues recherches, un lieu convenant admirablement pour cet usage, sur les hauts plateaux des Etats-Unis. La planche 34 montre le grand télescope tel qu'il pourrait être construit sur le bord du Grand Canyon (Arizona), dominant le désert. Ce point est à une altitude d'environ 2.400 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ces télescopes de grande ouverture seront disposés pour être utilisés principalement pour l'étude d'une zone large de quinze degrés au plus de part et d'autre du zénith. Cette précaution, combinée avec la plus grande altitude, éliminera la presque totalité des inconvénients dus à la réfraction et à l'absorption atmosphériques.

Par suite de cette obligation, le projet initial comprendra donc une série de cinq grands télescopes, placés respectivement à l'équateur et à 18 et 36 degrés de latitudes nord et sud.

Plate 34. — The shortest of the five focal lengths of this 8-metre telescope is 20 metres, (65.6 feet) ; this is secured by the *Schwarzschild* combination of one *large concave* and one *small concave* mirror, both having *new curves*, which give extreme sharpness and concentration of images over a large field of more than two degrees diameter.

Each of the four *greater* focal lengths, namely, of 50 metres, (164 feet), 100 metres, (328 feet), 200 metres, (656 feet) and 400 metres, (1312 feet), is secured by the *Ritchey-Chrétien* combination of one *large concave* and one *small convex* mirror, both having *new curves*, which give extreme sharpness and concentration of images. These great focal lengths are secured *always* by the combination of two mirrors, without great *actual* length, (height), of the telescope. These five progressive focal lengths, interchangeable *quickly*, *accurately* and *safely at night*, add immeasurably to the efficiency of this telescope.

Equally important with the development of better telescopes is the development of special photographic emulsions having, simultaneously, greater *sensitiveness* and finer *grain*. This research is already far advanced.

In order that the refinements and apertures planned shall be *used* with the utmost efficiency, the *daily care* of the instruments and the actual work of *guiding* in astronomical photography must be done by *specially-trained technicians*.

A systematic search must be made for *sites* for these telescopes, at which atmospheric conditions are fine enough for their *efficient* use. Sites at *great altitudes* and in extremely dry, mild climates must be chosen. Superatively fine sites have already been found by the writer, through systematic search, in the very high, dry plateau-regions of the United States. Plate 34 shows a proposed Super-Telescope on the rim of the Grand Canyon, Arizona, overlooking the Painted Desert to the north. The altitude above sea-level here is about 7300 feet.

Telescopes of the apertures planned should be used on the sky at distances not greater than fifteen degrees from the zenith of each telescope. This, like the great altitude, insures decreased atmospheric refraction and absorption. Due to this requirement, the present plan is for a series of five great telescopes, under one democratic management, at latitudes about 36° north, 18° north, 0°, 18° south, and 36° south, respectively.

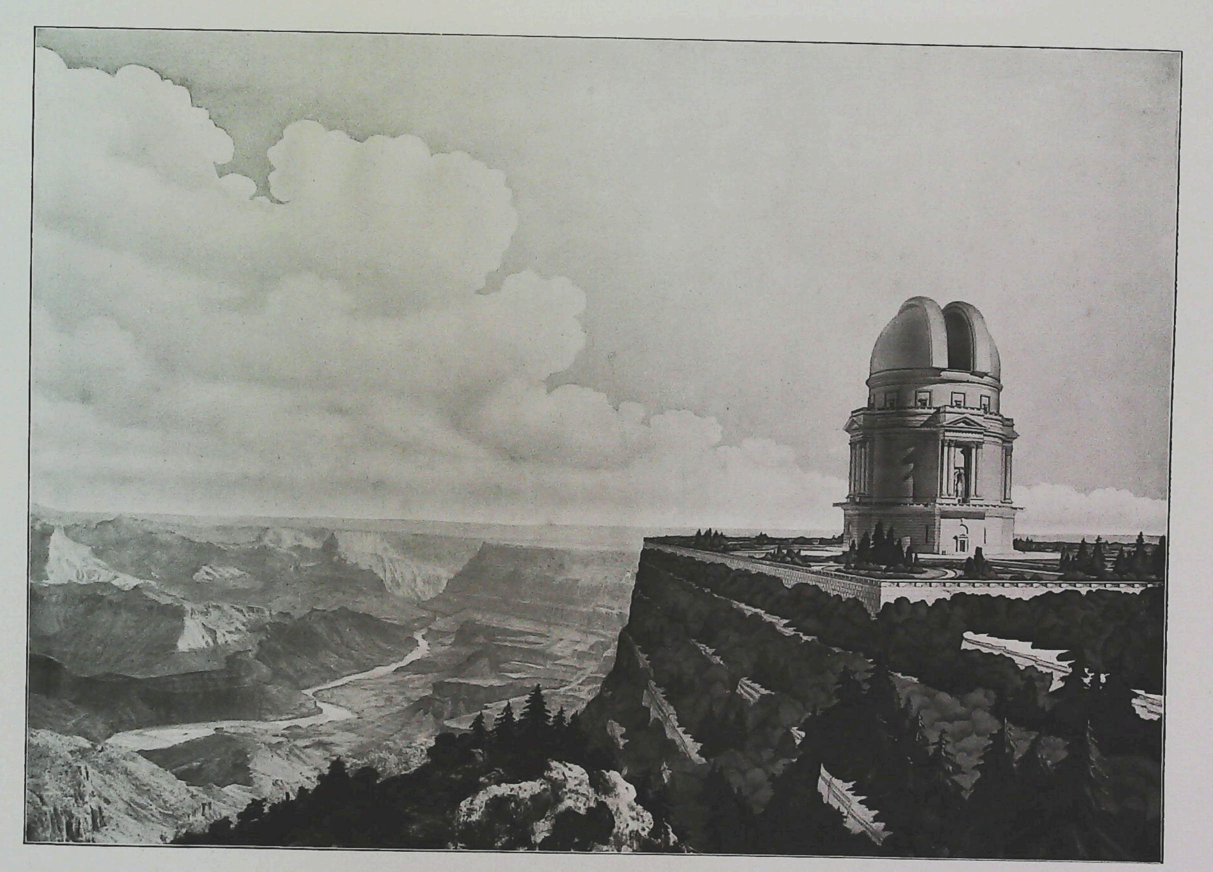


PLANCHE 34. — LE GRAND TÉLESCOPE FIXE-UNIVERSEL, TEL QU'IL POURRAIT ÊTRE CONSTRUIT A "DESERT-VIEW" (ARIZONA).
PLATE 34. — PROPOSED 8-METRE FIXED UNIVERSAL TELESCOPE AT DESERT VIEW, ARIZONA.

LE télescope fixe-universel géant de 8 mètres de diamètre, grâce à l'application simultanée de tous les perfectionnements techniques décrits précédemment, sera donc *le seul* instrument capable d'atteindre photographiquement le pouvoir séparateur fixé par la théorie. Ce pouvoir permettra d'utiliser, pour les objets célestes étendus, tels que la Lune, les planètes et les nébuleuses amorphes, un grossissement de 22.500 diamètres. Pour les champs stellaires, les amas de la Voie Lactée et les nébuleuses spirales, ce grossissement pourra être porté à 37.000 diamètres.

Ce sera le premier grand télescope utilisant les perfectionnements suivants :

1º Des émulsions photographiques spéciales, extrêmement sensibles et à grain très fin. 2º Des plaques photographiques à surface taillée de manière à faire coïncider l'émulsion avec le champ optique du télescope, à moins de 2 microns près. 3º La remise au point continuelle de l'image, commandée électriquement par un observateur spécial. Cette mise au point est faite avec une précision de quatre-centièmes de millimètre. 4º La méthode d'obturation électrique permettant à un second observateur de n'utiliser que les meilleurs moments de définition atmosphérique. 5º Le guidage électrique de l'image, vérifié constamment par un troisième observateur. 6º L'emploi de machines spéciales, propres à développer l'habileté professionnelle et la rapidité des observateurs dans les opérations de guidage et d'obturation.

Ce télescope géant, pouvant profiter des moindres instants favorables de l'atmosphère, grâce à l'interchangeabilité automatique de ses pièces optiques, nous permettra d'obtenir photographiquement des résultats insoupçonnés, tels que :

(*a*) Photographie de tous objets célestes avec un grossissement et une précision soixante fois plus grands que sur les meilleurs clichés actuels; (*b*) photographie d'étoiles dix mille fois moins lumineuses, c'est-à-dire cent fois plus éloignées que les plus faibles décelées jusqu'ici; (*c*) photographie de détails célestes soixante fois plus petits que ceux actuellement à la limite de la visibilité; (*d*) photographie de centaines de millions de petites spirales de toutes dimensions, jusqu'à celles soixante fois plus petites que les plus fines visibles sur la planche 22 ; (*e*) la photographie des plus fins détails de structure des grandes nébuleuses spirales, tels que les meilleurs télescopes photographiques actuels les montrent dans notre propre Galaxie; (*f*) photographie de détails lunaires n'ayant pas plus de 25 mètres de diamètre; (*g*) photographie, à la surface de Mars, de détails ne mesurant pas plus de 3 kilomètres; (*h*) photographie de planètes existant autour des plus proches étoiles.

Cet instrument géant sera le premier qui profitera des études systématiques entreprises depuis 35 ans dans les laboratoires astrophotographiques et des recherches faites par l'auteur depuis 20 ans des meilleurs emplacements susceptibles d'être utilisés pour la construction de ces observatoires.

Le premier grand télescope inaugurera la première série de cinq télescopes semblables, placés sous la même direction, qui seront établis à différentes latitudes (Planche 33), chacun ne travaillant que près du zénith.

Ce sera le premier observatoire *international*, en ce sens que tous les documents obtenus seront à la disposition des astronomes, des savants et des chercheurs du monde entier.

Ce sera enfin le premier grand observatoire *d'éducation* et ses photographies célestes pourront être aussi bien employées pour l'instruction populaire que pour les recherches scientifiques.

Une série de cinq télescopes géants de 8 mètres d'ouverture tels qu'ils viennent d'être décrits, coûtera moins de 2 milliards de francs, y compris les fonds nécessaires à leur entretien indéfini. Cette somme parait énorme : cependant elle ne représente que le quart des crédits qui viennent d'être votés récemment par le Congrès américain pour la construction de quinze croiseurs.

Les diverses branches de la Science ont maintenant des relations si étroites que toutes profitent, plus ou moins, d'un progrès réalisé par l'une d'entre elles. Or, le télescope géant permettra d'employer des instruments d'analyse perfectionnés pour l'étude des radiations stellaires ou cosmiques. Ces instruments

seront incomparablement plus puissants que ceux que l'on peut fixer actuellement aux plus grands télescopes articulés. Nous étudierons donc ainsi les différents états de la matière dans l'immense laboratoire de l'Univers, dans des conditions irréalisables sur la Terre.

Les progrès considérables faits en Astronomie amèneront inévitablement des perfectionnements analogues dans les sciences qui s'y rattachent le plus: la Physique et la Chimie. L'histoire montre que de tels progrès vont de pair et qu'ils influencent profondément et favorablement la civilisation tout entière. Les applications de l'électricité, de la radiotéléphonie et de l'aviation n'en sont-ils pas des exemples frappants?

Ce sera un nouvel effort fait pour utiliser les ressources infinies de l'Univers, pour le plus grand profit des hommes.

Un tel ensemble de télescopes ne manquera pas de nous révéler un Univers dont la Terre, le Soleil, et même la Voie Lactée ne seront plus que des quantités négligeables. En effet, plus s'accroîtra notre domaine plus petites en paraîtront les dépendances.

Une nouvelle science, une compréhension différente du monde, pour tout dire, une éducation nouvelle : voilà les conséquences que l'Humanité tirera de ces instruments géants, armes puissantes de Paix. On peut affirmer, sans exagération, que dans les vingt années qui suivront leur mise en service, la science fera plus de progrès que pendant les vingt derniers siècles, et nous ne pouvons même encore concevoir toutes les merveilles qu'ils nous révèleront. Avec eux, nous commencerons seulement à explorer l'Univers.

En avant pour cette nouvelle croisade scientifique : les cieux ne proclament-ils pas la gloire de Dieu?

THE 8-metre Fixed-Universal or Super-Telescope will be the first great telescope for which the site of the observatory, the type of the instrument, the construction of the mirrors and mounting, the refinements of operation of the instrument, the quality of the photographic plates and emulsions, and the training of the observers and caretakers will insure that the full theoretical optical power of the telescope due to its aperture will be attained frequently in the resulting photographs. This theoretical magnifying power is 22,500 diameters for celestial objects having extended surfaces, such as the Moon, planets and nebulae, and is 37,000 diameters for fields of stars, such as the star clouds of the Milky Way, the globular star-clusters and the spirals.

This will be the first great telescope to utilize the following :

1° Special photographic emulsions having, simultaneously, extreme speed and extreme fineness of granulation. 2° Special photographic plates having accurate surfaces which coincide, within 0,0001 inch, with the true telescopic field. 3° A method by which one observer corrects *continually* for focus, (focal plane), with an accuracy of 0,0001 inch. 4° A method by which a second observer operates electrically an occulting-shutter so that only at instants of finest atmospheric definition does the telescopic image reach the photographic plate. 5° A method by which a third observer operates only the electrically-controlled guiding-mechanism used with the horizontal, stationary, non-rotating field of the Super-Telescope. 6° A practice-machine with which to develop extreme skill and speed of the observers in guiding and occulting.

This will be the first great telescope with which, by taking full advantage of all instants of finest air-conditions, by means of the new guiding-mechanism specially designed for that purpose, we shall attain photographic results of which the following are examples : (*a*) Photographs of all classes of celestial objects of a quality which insures *sixty-fold increase* of accuracy of astronomical measurements. (*b*) The photography of *stars* which are 10,000 times *fainter*, (on an average 100 times *farther distant*), than any hitherto photographed. (*c*) The photography of *details* of celestial objects which are 60 times smaller than those at the limit of smallness at present. (*d*) The photography of hundreds of millions of small *spirals* of

apparent sizes down to those 60 times smaller than the smallest shown in Plate 22. (*e*) The photography of finer details of structure of the great or near spirals shown in this book than our best *present* photographic telescopes can show of the structure of our own Galaxy. (*f*) The photography of details on the Moon which are 70 *feet* in diameter; (*g*) The photography of details on Mars which are 1.8 *miles* in diameter. (*h*) The photography of *planets* around some of the stars which are our nearer neighbors in space.

This will be the first great observatory to take advantage of thirty-five years of continuous, systematic research in an *astro-photographic laboratory.*

This will be the first great observatory to take advantage of twenty years' systematic search for the most favorable observatory *sites* in the United States.

This will be the first great telescope to inaugurate the series of *five similar telescopes* under one management, in successive latitudes about twenty degrees apart, each telescope working only near its zenith, (description of Plate 33).

This will be the first *international* observatory, in the sense that its photographs will be available for competent workers desiring them, *of every nation*, precisely as they will be available for immediate members of the observatory.

This will be the first great *educational* observatory, in the sense that its celestial photographs will be used *equally* for *popular education* and for *scientific research.*

A series of five Super-Telescopes in successive latitudes, as outlined here, may well become a cooperative work of nations. These telescopes may well become the mighty guns of Peace. For *inevitably*, nations will soon decide, *and gladly*, that all such efforts for human betterment, for science and for education are infinitely more interesting and more profitable than the wholesale mutilation and murder of our fellow-men called war.

The natural sciences are so closely inter-related that when a great advance is made in one, all, simultaneously, must move forward with it. The Fixed Universal telescope makes possible the use of great *accessory* instruments for analyzing the radiation of stars and nebulae. These instruments will be incomparably more powerful and refined than any which can be attached to the greatest *moving, equatorial* telescopes, as at present. We shall thus learn of conditions of matter in the infinite laboratory of the Universe — conditions which could never be imagined from our meager experience in terrestrial laboratories.

The immeasurable advances which will be made in this and every department of astronomy will bring with them corresponding progress in the closely-allied sciences, physics and chemistry. All modern history has shown that such advances influence favorably and profoundly the entire structure of civilization. The applications of electricity, of radio and of aviation are familiar examples.

This is the incomparable exploration — the effort to bring the resources of the Universe to the service of mankind. This series of telescopes, by revealing to all men, *graphically*, by means of exquisite photographs, a Universe of which the Earth, the Sun and the Milky Way are but an infinitesimal part, will bring to the world a greater Renaissance, a better Reformation, a broader science, a more inspiring education, a nobler civilization.

This is the Great Adventure. These telescopes will reveal such mysteries and such riches of the Universe as it has not entered the heart of man to conceive.

The heavens will declare *anew* the Glory of God.

Achevé d'imprimer
le 1er octobre 1929
par
PRINTEL
à Paris
Clichés de
Démichel et Ploquin.

PRINTEL
PARIS